

昭和 5 年 9 月

昭和 22 年 8 月 26 日
第三種郵便物認可

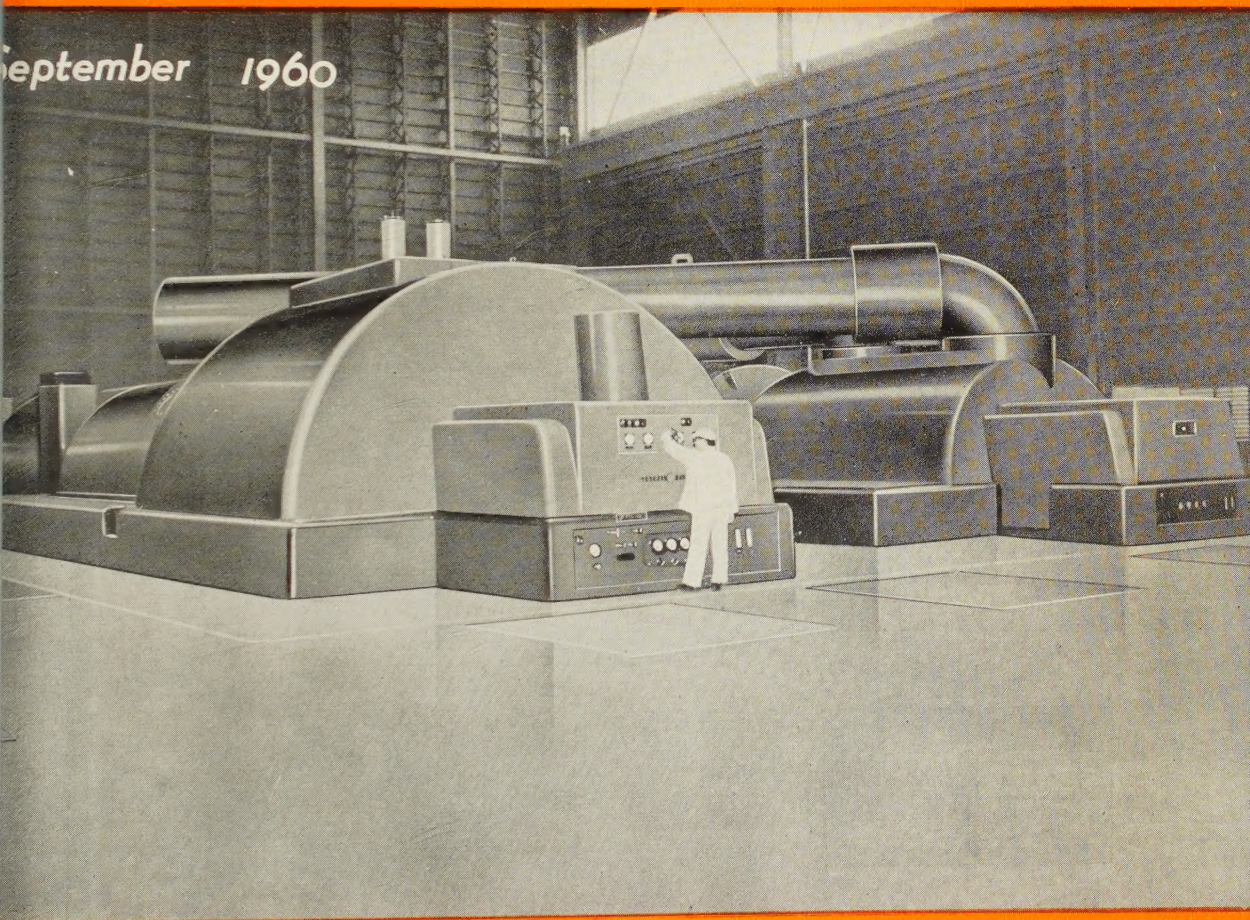
昭和 35 年 8 月 26 日印刷
昭和 35 年 9 月 1 日発行

毎月 1 回
1 日発行

電 気 学 会 雑 誌

The Journal of the Institute of Electrical Engineers of Japan

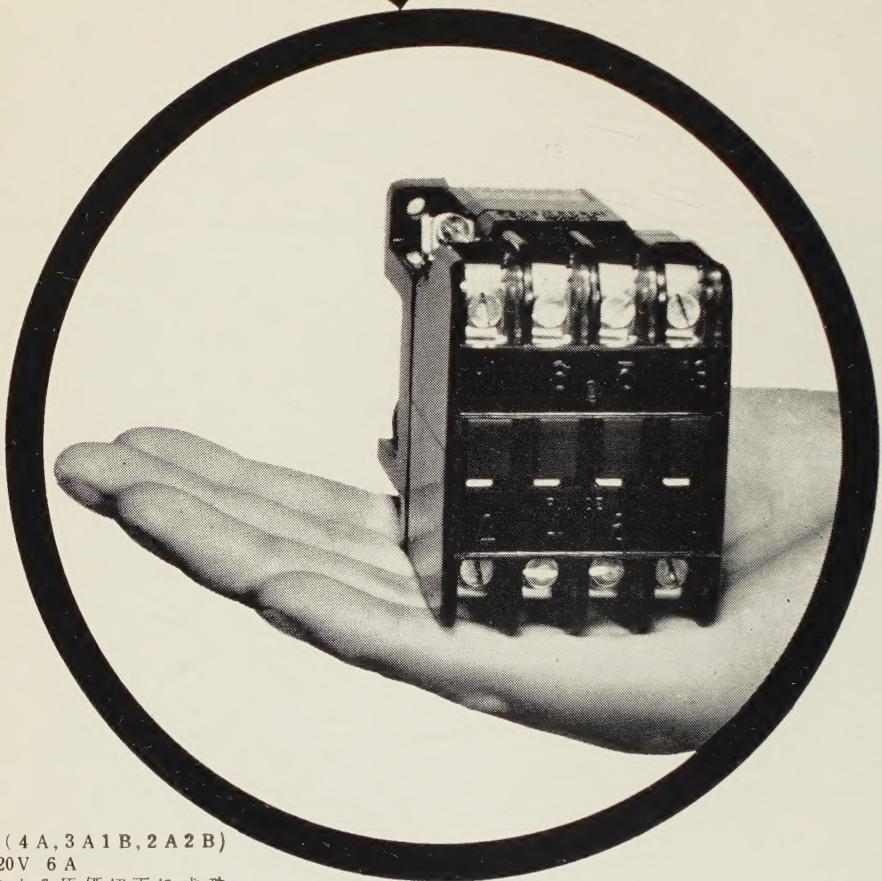
September 1960



クロスコンパウンド方式を採用した
東京電力横須賀火力発電所
(1機 265,000kW)

オートメーションの

新しい主役



4接点 (4A, 3A1B, 2A2B)
AC 220V 6A
量産による原価切下に成功
新定価 2,000円

富士

ゼロ形

補助継電器 電磁接触器

富士電機製造株式会社

東京都千代田区丸の内2の6



- 手の中にスッポリ入る超小形で、しかも性能はトップノ、信頼度のもっとも高いオートメ用リレーです。
- 1kwまでのモータルの安全運転・遠方操作とあらゆる機器のオートメーション制御に、ぜひご活用ください。
- 1 超小形で軽量
 - 2 最高性能JIS A-11-1以上
 - 3 寿命が長い 一、〇〇〇万回以上
 - 4 ひん繁開閉 毎時一、八〇〇回
 - 5 保守点検が容易

カタログをお送りします。誌名と記入の上左記へご請求ください。



受電設備の合理化

電力料金の節約に

...

日立進相用コンデンサは、最新式の製造設備と永年の研究経験により製作されている高性能の製品で、次のような特長があります。

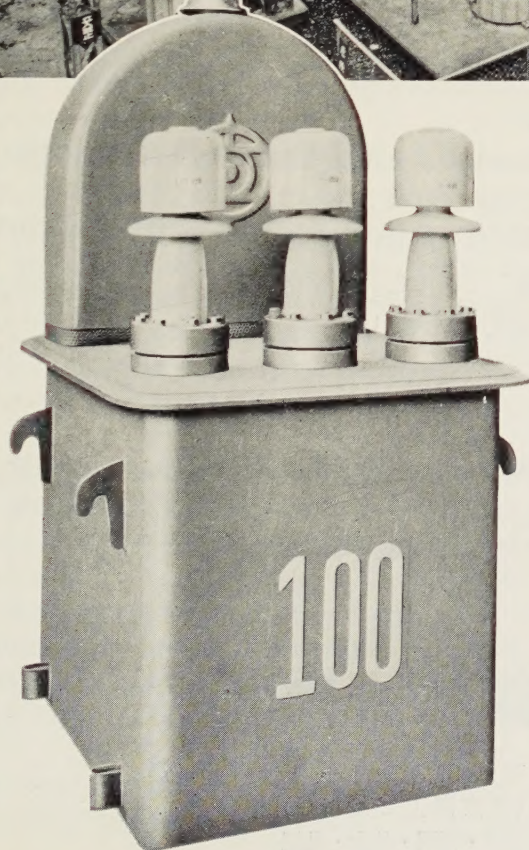
- コンデンサのクラフト紙および絶縁油は日立独特の特殊仕様によるものであります。
- 真空乾燥、油処理については最新式設備により完全な処置がなされています。
- 密封型全熔接のため油洩れがありません。

日立 進相用 コンデンサ



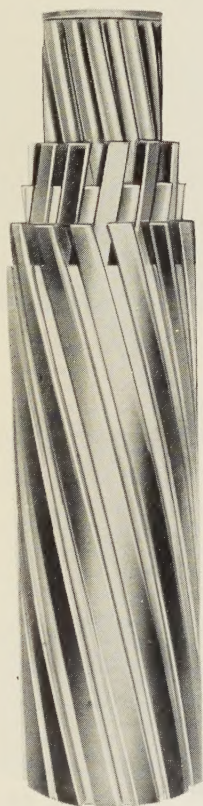
創業50周年
資本金300億

日立製作所



SWCC

昭和の長空間用 ロックドACSR



海峡横断に用いられる電線や、特に大きな谷越へ、あるいは河川横断などにおけるように、著しく長い径間を採用せざるを得ないところでは、特別に引張荷重の大きい電線が要求されますが、昭和のロックドACSRは、このような要求を満たすとともに、電流容量を極力高くとれるように外層に異形イ号アルミ合金線を用いて作られています。

主要特長

1. 機械的強度が大きく、しかも電流容量を高くとることができる。
2. 不反撥ヨリ方式を採用しているため、工事の取扱いがきわめて容易である。
3. 防蝕剤には当社独特の防蝕コンパウンドで全面防蝕が施してあるため、腐蝕に対してきわめて安定で、信頼度が大きい。

写真の電線は90ton 以上の引張荷重に耐え、600A 以上の連続電流を通電することを目標にしたものでありますが、試験の結果、目標値をはるかに上まわる好成績を得ております。

昭和電線電纜株式會社

本社並工場 川崎市東渡田3-1-1
東京販売店 丸の内(東京海上ビル新館)
販売店 大阪・名古屋・福岡・仙台・札幌

電 気 学 会 雑 誌

昭和 35 年 9 月

第 80 卷 第 9 冊 第 864 号

本 号 の み ど こ ろ

東京支部大会論文集予約募集、東海支部、北海道支部連合大会講演募集、諸行事こよみ、第 2 回原子力研究総合発表会論文募集 の会告がある。(前 5~7)

誘電形高周波発電機の出力の限度について 誘電形高周波発電機の出力を増す方法として電極間寸法の縮小、電極幅の縮小と極数の増加、回転数の増加についてそれぞれ理論的、実験的に解析したもの。(1229 ページ)

誘導機のコンデンサ自励現象 誘導機の残留磁気電圧、コンデンサを接続したときの端子電圧と回転数の関係を実験的に求め、誘導機のコンデンサ自励現象を明らかにしたものの。(1236 ページ)

単相誘導電動機の等価回路と図式特性算定法 単相誘導電動機の固定子巻線を各相巻線とする対称二相または三相誘導電動機の定数を使用した単相誘導電動機の等価回路を利用して、特性の図式算定法について述べたもの。(1244 ページ)

気体中の空間電荷理論 気体中の空間電荷の運動を流体力学的方法に基づいて論じた。空間電荷の流れに対する抵抗の存在により真空領域から気圧の次第に高まる領域にかけての液体の速度と電界との関係が詳しく吟味された。

(1252 ページ)

変圧器の衝撃電圧試験における印加電圧波形の算定 大形変圧器、特にその低圧巻線は他の機種にくらべて対地インピーダンスが低いいため衝撃電圧試験時の回路定数の決定は、ほとんど経験によっていたが、本論文はこの種のものの回路定数ある程度算出できるようにしたもの。(1260 ページ)

電力系統開閉サージに対する系統損の影響 コロナ放電および零相回路の損失に着目し、それぞれの模擬回路を導き、モデル系統について定量的検討を行った。

(1267 ページ)

薄膜を要素とした容量形電気湿度計の研究 筆者が前に開発した静電容量測定器を湿度計として使用するために、感

湿素子を研究し、一応満足できるものが得られたので、その経過と測定例とが示してある。(1274 ページ)

誘導電動機速度制御方式に関する考案 誘導電動機速度制御を行うのに差動歯車を使用して整流器の容量を減少させる方式について述べたもの。(1281 ページ)

ヒューズ線の温度上昇と電流-時間特性 ヒューズ線の溶断特性を理論と実験によって求めたもので、主として張力をかけたヒューズ線をあつかっている。(1288 ページ)

誌上討論 埴野・上之園・上之園氏の「突極形同期発電機強制並列時の同期引き入れ現象について」に対し乗松立木氏が討論をよせたもの。(誌上討論 1294 ページ)

試験電圧標準特別委員会報告 従来の機器の試験電圧規格は個々の委員会で制定されたため統一を欠いていたが、本委員会で検討した結果、一部の懸案事項を残して一応の成案が得られた。なお絶縁試験法小委員会の審議状況をも述べている。(報告 1296 ページ)

低開発国への技術協力について 最近の低開発国の援助の動向について述べ、資本の少ないわが国の低開発国への経済協力の方法としては技術協力によって相互に緊密な経済関係を樹立する必要と、わが国の海外技術協力の現状について述べている。(講演 1300 ページ)

核融合に関する技術討議会 核融合反応による発電の実現には困難な問題が山積しているが、資源的には核分裂反応よりも有利とされている。この討議会では当面する技術的諸問題に重点をおいて説明、討論が行われた。

(技術討議会 1304 ページ)

高圧ケーブルの最近の傾向 現用電力ケーブルの発達と動向、種類と特徴、今後の問題点について述べている。

(技術綜説 1339 ページ)

送電線の塩じん害対策 送電線を対象とし、がいしの汚損の実態とフラッシュオーバー特性ならびに塩じん害対策の既要について、主として標準懸垂がいしを中心に述べたもの。

(技術綜説 1347 ページ)

資料・論文

誘電形高周波発電機の出力の限度について	安濃 恒友	1229 (1)
誘導機のコンデンサ自励現象	足立 良夫	1236 (8)
単相誘導電動機の等価回路と図式特性算定法	林 清嗣	1244 (16)
気体中の空間電荷理論	宮島 重喜・山本 賢三	1252 (24)
変圧器の衝撃電圧試験における印加電圧波形の算定	岩崎 晴光	1260 (32)
電力系統開閉サージに対する系統損の影響	馬場 準一・森本 英男	1267 (39)
薄膜を要素とした容量形電気湿度計の研究	新井 智一・一条文二郎	1274 (46)
誘導電動機の手速度制御方式に関する考察	神崎 勇二	1281 (53)
ヒューズ線の温度上昇と電流-時間特性	川添 敏信・菊地 正	1288 (60)

誌上討論

埴野・上之園・上之園氏の「突極形同期発電機強制並列時の同期引き入れ現象について」 に対する討論	乗松 立木	1294 (66)
乗松氏の討論に対する回答	埴野 一郎・上之園親佐・上之園 博	1295 (67)

報告

試験電圧標準特別委員会報告	試験電圧標準特別委員会	1296 (68)
---------------------	-------------	-----------

講演

低開発国への技術協力について	進藤武左衛門	1300 (72)
----------------------	--------	-----------

技術討議会

核融合に関する技術討議会	原子力技術委員会	1304 (76)
--------------------	----------	-----------

製品紹介

275 kV OF ケーブル	古河電気工業株式会社	1337 (109)
可変速無整流子電動機	株式会社 明 電 舎	1338 (110)

技術綜説

高圧ケーブルの最近の傾向	木野 二郎・加賀谷誠一	1339 (111)
送電線の塩じん害対策	竹村 東虎	1347 (119)

学界時報

特許紹介		1355 (127)
------------	--	------------

ニュース		1390 (162)
------------	--	------------

本会記事		1394 (166)
------------	--	------------

調査委員会記事		1401 (173)
---------------	--	------------

求人・求職		1403 (175)
-------------	--	------------

求職誤		1336 (108)
-----------	--	------------

正会告〔東京支部大会論文集予約募集, 東海支部, 北海道支部連合大会講演募集, 諸行事こよみ, 第2回原子力研究総合発表会論文募集〕		1280 (52)
---	--	-----------

(前5~7)

電気学会雑誌への寄稿注意

- 寄稿者は原則として本会会員に限る。
- 本会所定の原稿用紙に「電気学会雑誌寄稿のしおり」に基づいて執筆のこと。これらは申込み次第送付する。
- 寄稿の種類
 - 資料・論文 (長さは刷上り10ページ以内, 英文要旨付)
(雑誌1ページは本会原稿用紙で6枚)
学術および技術に寄与する新しい研究成果
 - 誌上討論 (長さは原則として刷上り1ページ以内)
本会誌に掲載された事項に関する討論およびそれに対する原著者の回答
 - 寄書 (長さは原則として刷上り2ページ以内)
学術又は技術に関して, 会員一般の関心を促すための意見, 本会の事業および動向に対する批判, 意見等
- 4 会員の声 (600字以内, 用紙随意)
雑誌, 講演会その他本会の事業を改善するための建設的意見等を簡潔に執筆したもの。誌上匿名は差支ない。採否は編修理事が決定する。又要旨だけ掲載する場合もある。
- 5 本会受付前に他の公開出版物にほぼ同じ位詳しく掲載されたものは原則として掲載しない。
- 6 英文要旨 資料・論文に 300~500 語以内 (図表を付けない) の英文要旨を付けること。これは海外向本会誌のみに掲載する。
- 7 原稿の送付先 東京都千代田区有楽町1丁目3番地
電気学会編修課
- 8 別刷 50部までは無料で著者に贈呈。それ以上は有料。

(1 機 265, 000 kW)

また、性能としては設計熱効率 39.8% という高効率発電所であり、現在の計画では、昭和 39 年には 1,060,000 kW に達する予定である。

[illegible][illegible]

電話和田倉 (201) $\begin{cases} 0983 \\ 0984 \end{cases}$ 番 振替口座 東京 3168 番

電 気 学 会 編 修 委 員 会

委員長 宮本 茂業 (東芝) 幹事長 小沢 健一 (明電)
幹 事 森 英夫 (電試) 柳井 久義 (東大) 上之園親佐 (電中研)

編 修 委 員

- 第一部門** 主査 高山 一男 (通研), 副主査 小林 茂雄 (電試)
委員 石橋 文男 (熊本大), 犬石 嘉雄 (阪大), 宇田川銑久 (名大), 上田 実 (名大), 片岡 恒 (愛媛大), 木俣 守彦 (早大), 岸 源也 (東工大), 沼崎 信雄 (横河), 森 為可 (慶大)
- 第二部門** 主査 山村 竜男 (国鉄), 副主査 石崎 彰 (明電)
委員 大嶋 幸一 (日新), 菊地 正 (東北大), 栗田健太郎 (日立), 近藤 晴男 (安川), 土井 晋一 (東芝), 古川 徹也 (富士), 迎 久雄 (三菱), 吉雄 稔彦 (東芝)
- 第三部門** 主査 日高 一彦 (電試), 副主査 藤井 祐三 (東電)
委員 小川三樹雄 (関西電), 尾出 和也 (電中研), 大月 清一 (中国電), 工藤 康雄 (金沢大), 佐波 正一 (東芝), 市東礼次郎 (電源開発), 藤井新兵衛 (電試), 藤本 悟郎 (四国電), 武藤 三郎 (名工大), 山下 実 (東北電)
- 第四部門** 主査 矢崎 銀作 (通研), 副主査 田宮 潤 (東大)
委員 井上 浩 (富山大), 猪瀬 博 (東大), 池上 淳一 (京大), 市川 真人 (名大), 大野 克郎 (九州大), 川野 董 (広島大), 川橋 猛 (日電), 鈴木 道雄 (北海道大), 新美 達也 (通研), 水利 康 (東芝)
- 第五部門** 主査 山川 重一 (東芝), 副主査 日下部悦二 (古河)
委員 小沢 保知 (北海道大), 木村 五郎 (八幡), 呉 文雄 (国鉄), 小林 栄二 (日立), 小林 四郎 (住友), 中村 二郎 (藤倉), 福井 清 (東芝)
- 第六部門** 主査 野村 民也 (東大), 副主査 矢板 徹 (電試)
委員 黒川 一夫 (電試), 西原 宏 (京大), 西村正太郎 (阪大), 馬場 準一 (三菱), 本多 波雄 (東北大), 三浦 武雄 (日立), 三浦 良一 (北海道大), 元岡 達 (東大)

学 界 時 報 委 員

- 主 任 森 英夫 (電試)
- 第一部門** 池沢 茂 (日電), 池田三穂司 (電試), 鳩山 道夫 (ソニー)
- 第二部門** 井手 学 (東芝), 清水 照久 (富士), 中野 義映 (東工大), 山田 栄一 (三菱)
- 第三部門** 木村 哲 (電源開発), 近藤 滉 (電試), 鶴見 策郎 (電試), 中島 隆雄 (電中研), 永村 純一 (電試), 武藤 良介 (国鉄)
- 第四部門** 沢田新一郎 (通研), 豊田 和雄 (富士通信機), 中原 裕一 (東芝)
- 第五部門** 川井 栄一 (古河), 北村 覚一 (電試), 中村純之助 (日立), 山本 孝明 (電試)
- 第六部門** 長谷川健介 (東工大), 元岡 達 (東大)

ニ ュ ー ス 編 修 委 員

- 主 任 小沢 健一 (明電)
- 秋丸 春夫 (通研), 奥田 教久 (朝日新聞), 加藤金一郎 (電線工業会), 坂口 光 (富士), 竹村 旗夫 (東芝), 武市 武 (電子機械工業会), 東郷 安正 (日電), 二ノ宮良一 (日立), 富士原 智 (公益事業局), 藤木 久男 (横河), 松谷 繁雄 (電機工業会), 森 英夫 (電試), 山田 栄一 (三菱), 湯川 竜二 (国鉄)

昭和 35 年電気学会東京支部大会論文集の予約募集

今大会は、昨年同様「リポータ方式」により開催いたしますが、一般発表論文を集録した論文集「合本」および「分冊 6 種」を予約出版いたします。是非ご予約の上、あらかじめ通覧され御参加下さるよう希望いたします。例年の通り予約申込部数のほか多くの余部を作りませんから確実に入手したい方は期間中にお申し込み下さい。

分冊 1 基礎、電気計測 ……………42 件	150 円	分冊 5 発送配電、ケーブル…………104 件	300 円
分冊 2 自動制御、電気計算機、音響、通信、電子回路、電子装置 ……56 件	200 円	分冊 6 電気鉄道、電気応用、照明 ……………35 件	130 円
分冊 3 電気材料 ……………60 件	200 円	合 本 (以上 357 件)……………	950 円
分冊 4 電気機器 ……………60 件	200 円	送料	支部負担

予約申込締切 9 月 30 日 (厳 守) 出版予定 10 月初旬

- 申込方法 (1) 代金を添え、東京都千代田区有楽町 1 の 3、電気学会東京支部宛申し込むこと。
 (2) 振替送金は、東京 3168 番電気学会宛とし、通信欄には送金目的を明記すること。
 (3) 学校等で現品納入後でなければ支払ができない向は、注文書にその旨明記すること。

大 会 案 内

期 日 11 月 5 日 (土) 6 日 (日) 会 場 東京大学工学部 2, 3 号館 (文京区本富士町)

特別講演 5 日 (土) 午前 9 時 30 分 講演予稿は当日配布

- | | |
|-------------------|---------------|
| (1) 40 万ボルト級超高压送電 | 東京大学 福田 節 雄 君 |
| (2) 貿易自由化と電子工業 | 通 産 省 矢 川 豊 君 |

一般論文の発表 357 件 5 日 (土) 午後 6 日 (日) 午前・午後

先ず各グループの関連論文につき専門のリポータから内容の一括紹介と問題点の提起があった後、発表者の補足説明があり、ついで討論および質疑応答を行い、討論には重点をおき充分の時間をあててあります。

論文の予稿は、上記の通り予約出版により早目に発行いたします。

参加費 正員 100 円 学生 (准員を含む) 50 円 会員外 200 円

参加者には、参加章、大会次第書を差し上げます。(特別講演予稿、一般論文に対するリポータ提起の問題点の印刷物は、当日各会場で配布いたします。)

電 気 学 会 東 京 支 部

諸 行 事 こ よ み

東北支部連合大会	10 月 13 日 (木)~15 日 (土) (7 月・8 月号会告参照)
北陸支部連合大会	10 月 19 日 (水) 20 日 (木) (8 月号会告参照)
九州支部連合大会	10 月 28 日 (金) 29 日 (土) (8 月号会告参照)
四国支部連合大会	10 月 28 日 (金) 講演 ……四国電力会社本店 (高松市) 懇親会 ……講演終了後 (高松市内、会費 300 円)
東京支部大会	11 月 5 日 (土) 6 日 (日) (7 月・9 月号別掲会告参照)
東海支部連合大会	11 月 18 日 (金) 19 日 (土) (9 月号別掲会告参照)
北海道支部連合大会	11 月 25 日 (金) (9 月号別掲会告参照)
関西支部連合大会	11 月 26 日 (土) 27 日 (日) (8 月号会告参照、詳細 10 月号会告)
電気工学年報 35 年版	予約申込・特価払込期日…………9 月 30 日

電気四学会東海支部連合大会講演募集

日 時 11 月 18 日 (金) 19 日 (土)

会 場 名古屋工業大学 (名古屋市昭和区御器所町)

応募者の資格 所属会員に限る。連名の場合でも講演者は会員でなければならない。

講演内容 最近行なった研究または挙げた成果であること。

募集制限 発表件数に制限はないが、内容が極めて類似したものが数件にわたることは認めない。

講演部門 (全国) 連合大会の部門に準じて希望部門を申し出ること。ただし組合せの都合により変更することがある。

講演時間 1 件 20 分以内で所要時間を申出ること。

講演要旨 謄写印刷により論文集を発行する。講演申込者は 1 件につき 2,400 字以内の要旨を提出すること。(刷上り 2 頁, ただし図面を入れる場合はそれだけ文章を縮めること。) 図面は縮尺しないから適当の大きさに書き墨入れの必要はない。(1 頁の大きさは, 200×130 mm) 別刷希望者は必要部数を申込書用紙に記入申込むこと。

講演者参加費 300 円 講演者には論文集 1 部および別刷 50 部を贈呈する。ただし別刷 50 部以上 (50 部単位) 1 部につき 2 円申受ける。

申込方法および申込期限 (1) 講演申込書, 原稿の書き方, 原稿用紙は申出により差上げる。郵送の場合は 8 円切手を添付すること。

(2) 講演申込書に所要事項を記入し原稿用紙に書いた原稿と参加費 300 円を添え, 10 月 15 日 (土) 午後 5 時までに提出すること。

申込先 名古屋市千種区不老町, 名古屋大学工学部電気工学教室内, 電気学会東海支部連合大会係

電気学会・電気通信学会・照明学会・テレビジョン学会各東海支部

電気四学会北海道支部連合大会講演募集

日 時 昭和 35 年 11 月 25 日 (金) 午前 9 時

会 場 北海道大学工学部

講演者 会員に限る。ただし北海道支部所属者に限らない。

講演内容 最近行なった研究, 計画および工事報告, 新製品の紹介等。

講演時間 1 件 13 分以内。ただし都合により短縮することがある。

講演予稿 謄写印刷により予稿を発行する。予稿は 1 件につき本文 800 字以内 (400 字詰横書原稿用紙使用のこと) とし, 図面および表を入れる場合は本文を制限すること。図面は縮尺しないから適当の大きさに書き, 墨入れの必要はない。また著者が連名の場合は講演者に○印をつけること。

申込先 札幌市北 12 条西 8 丁目北海道大学工学部内

電気四学会北海道支部連合大会実行委員会

申込期限 昭和 35 年 10 月 24 日 (月) 午後 5 時。

申込方法 演題, 著者氏名, 勤務先およびスライドの使用の有無を記し, 予稿原稿を添えて申込むこと。

電気学会・電気通信学会・照明学会・テレビジョン学会各北海道支部

「第2回原子力研究総合発表会」論文募集

1. 名 称 第2回原子力研究総合発表会
2. 開催時期 昭和 36 年 2 月 15 日 (水)～18 日 (土) の 4 日間
3. 場 所 神田学士会館 (大集会室, 北大食堂, 南大食堂, 中食堂)
4. 共催学協会 日本原子力学会・電気学会ほか 26 学協会
5. 実施要領

- (1) 下表のように, I 研究発表, II 討論会, III 招待および総合講演に分けて日程を編成する。
- (2) 一般から募集するのは I 研究発表で, 未発表の研究論文に限り, 予報的なもの, 既発表に類似のもの, 項目外のものは採らない。採否については論文選考委員会が決定する。
- (3) 研究発表の時間は原則として 15 分とする。
- (4) II 討論会, III 招待および総合講演は運営委員会内の小委員会で企画立案する。
- (5) プログラムの編成については運営委員会がこれを決定する。
- (6) 「要旨集」は発行するが, 提出論文をまとめた「報文集」は刊行しない。

○詳細のお問合せは, 運営委員会 (日本原子力学会気付) へお願いします。

分類番号	項 目	分類番号	項 目
I 研 究 表	1 核燃料資源およびその探鉱	II 討 論 会 (案)	○ 大学の教育研究と原子炉設置について
	2 核燃料 (製造, 諸性質など)		○ JRR-1 の総合試験結果
	3 原子炉材料 (製造, 諸性質, 放射線損傷など)		○ セラミック燃料について
	4 原子炉化学 (原子炉に関連する放射化学, 放射線化学およびその工学的問題)		○ 自由討論 (例えば, 原子力開発長期計画について)
	5 超高温プラズマ		○ そ の 他
	6 核物理 (中性子物理学, 核分裂反応, 加速器など)	III 招 待 合 講 演 (案)	○ 原子力関連各分野の招待講演
	7 炉物理 (中性子拡散減速, 原子炉理論, 臨界計算, 動特性)		○ 原子力船の安全基準
	8 原子炉計測, 制御		○ 放射線化学の進歩
	9 原子炉工学 (原子炉設計および装置工学, 機械工学としての諸問題, 遮蔽を含む)		○ 放射線医学の進歩
	10 原子炉に関する土木, 建築, 造船学的問題		○ 固体物理の最近の進歩
	11 核燃料サイクル		○ その他 (JRR-2, 計算コード)
	12 放射線障害と健康管理 (保健物理に関連あるもの)		
	13 放射性廃棄物処理		
	14 原子炉の安全性 (災害解析とその対策, 環境調査などを含む)		

研究発表申込方法

- (1) 研究発表希望者は, 運営委員会 (東京都港区芝田村町 1 の 1・原研内 Tel 591-5489 日本原子力学会気付) 宛申出れば, 所定の研究発表申込書, 「要旨集」原稿用紙, 執筆規程を送ります。
- (2) 研究発表申込書の受付は 10 月 15 日～10 月 29 日 (土) (期限厳守)
- (3) 「要旨集」の原稿の提出は 11 月 19 日 (土) までに必着のこと。

最高水準を行く

三菱造船の 発電フロント・タービン・ボイラ・水車

九州電力株式会社
苅田発電所納
三菱長崎CE強制循環式
542トンボイラ

当社の原動機製作の歴史は古く、1885(明治18)年のボイラ第1号
佐の完成に始まりまして、以来1959(昭和34)年末までに概略ディ
ーゼル機関210基(90万馬力)、陸船用ボイラ1,820缶(5,500T/H
+15万m²)陸用タービン260基(280万kw)、船用主タービン260
基(190万馬力)、船用発電タービン120基(75,000kw)を製作、この
分野に確固たる実績を築きました。このうち火力発電用大型ター
ビンについては、エッシャ・ウイス社との技術提携のもとに、東
京電力K.K.向66,000kwタービンをはじめ多数の高出力機を完成
戦後の我が国の産業復興に大きな貢献を果たしてきましたが最近の
火力発電用タービンの大型化の要求に応え、超大型三養ウエスチ
ングハウス式タービンの製作を開始しました。

三菱造船株式会社



本社 東京都千代田区丸の内2の4(三菱本館) 電話 東京(281)5111・3111(原動機機械課)

ANDO

測定器



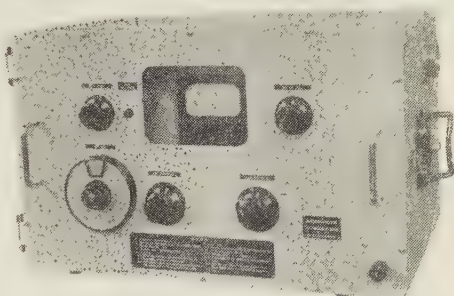
高圧用電気機器，絶縁材料の 絶縁度の試験に最適!!

高圧用損失角測定器

本器は、高圧用電気機器・碍子・絶縁材料・電力ケーブル等の損失角 ($\tan\delta$) を高圧にて正確かつ簡易に直読測定できるものでありまして、工場現場用、保守用として非常に有効なものであります。

特 長

- 1) 静電容量および $\tan\delta$ が簡易、迅速に直読できます。
- 2) 測定物を一点接地した状態で測定できますので、現用機器の劣化度測定に便利であります。



TR-5 型

350×550×350 mm 30 kg

性 能

	TR-5 型	TR-7 型	TR-8 型
測定周波数	50 c/s または 60 c/s	同 左	同 左
測定電圧	交流 500~5,000 V	1,000~11,000 V	1,000~25,000 V
測定範囲	0.0001 μ F~1 μ F $\tan\delta$ 0.02 %~100 %	100 pF~0.1 μ F 0.02 %~100 %	100 pF~0.01 μ F 0.02 %~100 %
メーター目盛精度	静電容量 2 pF $\tan\delta$ 0.02 %	同 左	同 左
測定誤差	静電容量 \pm (5 % + 5 pF) $\tan\delta$ 約 \pm 10 %	同 左	同 左
使用電池	9 V	同 左	同 左

広 告 目 次

3月号 コロナ雑音測定装置
4月号 パルスコープ
5月号 絶縁材料測定器一式

6月号 マイクロ波測定器
7月号 電子管式絶縁抵抗計
8月号 位相計一式

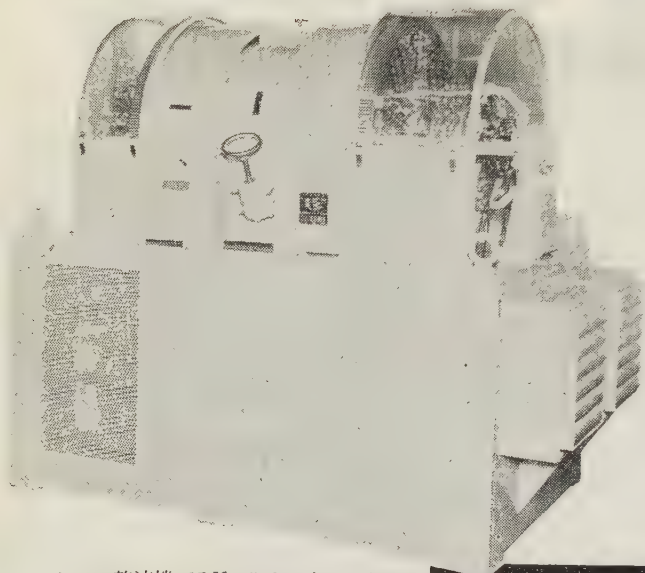
安藤電気株式会社

東京都大田区仲蒲田 3 - 4

Tel (731) 1161 (代)

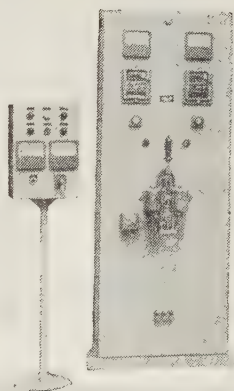
整流機
シリコン
ニウム
レ
ベルトロー

良心的な技術と
豊富な経験と

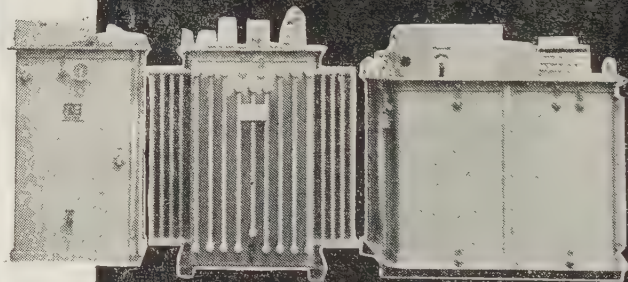


ベルトロー整流機 15 V-5,000 A 75 kW

各種制御盤



配電盤・自動制御機器



シリコン整流器 15 V-10,000 A 150 kW

下

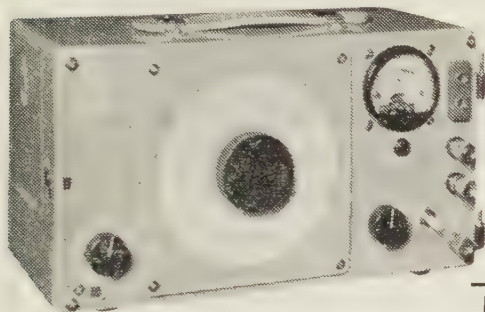
中央製作所

型録贈呈
誌名御記入

本社工場 名古屋市瑞穂区内浜町2丁目75番地 TEL 代表 (81) 3166
出張所 東京都港区芝浜松町4丁目2番地 TEL (431) 2177・6257

CR-60TB トランジスタ発振器

トランジスタを用いた小型携帯用の低周波発振器で、搬送機器、伝送回路などの試験調整に最適のものであります。

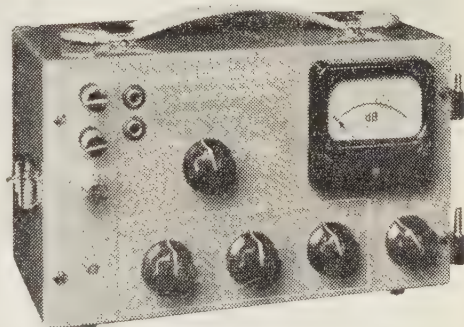


周波数範囲：
0.2 kc~60 kc
周波数精度：±2 %
出力：
各バンド内1 dB以内
周波数特性：3 %以内
電源：
22.5 V 乾電池

61年のハイラ
イト、トラン
ジスタ測定器

LM-8TB トランジスタレベル測定器

トランジスタを用いた小型携帯用のレベル測定器でありながら、周波数およびレベルの可能範囲において、また測定精度において、大型器なみの働きをします。また消費電力においても、予備電池の内蔵により、連続80時間以上の使用が可能です。



使用周波数範囲

0.2 kc~60 kc 600Ω 回線 (平衡または不平衡)
50 kc~500 kc 75Ω 回線 (")
0.2 kc~500 kc " (不平衡)

測定レベル範囲

-60dBm ~+30dBm

東亜電波 の計測器

チョッパ CH-1 CH-4

用途

CH-1: 特に高い入力抵抗 (10~1,000MΩ) の回路。

(例) 高入力抵抗直流増幅器、(pH計指示部・光電流増幅器等)
高入力抵抗自動平衡式記録計。

CH-4: 中入力抵抗 (1~10MΩ) の回路。

(例) 組み合わせ増幅器 (演算増幅器等) におけるドリフト補償用増幅器等。

またCH-1, CH-4, はいずれも低入力抵抗の回路 (数Ω~数10KΩ) で使用して、数μVの検出が可能です。



東亜電波工業株式会社

本社 東京都新宿区諏訪町235-4 (369)0101 (代)
出張所 大阪市東区淡路町3の6船場ビル (23)6547
サービス 福岡市東区町88-2日興電気商会内 (4)4910
ステーション 名古屋市中区朝日町2の5朝日電子エレクトロニクス (9)5232

日本電波の電圧電力計



N-14 実効値真空管電圧計

特長 ○各種波形の実効値が測れる。

○3mV から 300 V 迄測れる。

○30 c/s から 12 Mc 迄測れる。

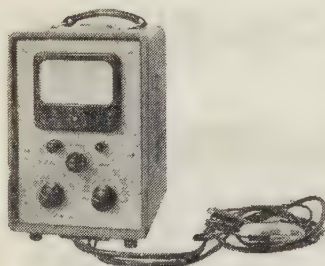
規格 測定電圧範囲 10mV~300 V フルスケール 10 レンデ

周波数特性 30 c/s~15 Mc ± 1 db

入力インピーダンス 1 M Ω に 40 pF 並列

寸法・重量 200×280×440 mm 約 15 kg

N-11A 真空管電圧計



特長 ○周波数範囲が広い

20 c/s~700 Mc

○電圧範囲広く 0.5 V フ

ルスケールから AC 300 V

DC 1,000 V 迄測れる。

○プルーヴ小型で高インピ
ーダンスである。

規格 電圧測定範囲

AC 0~300 V 7 レンデ

DC 0~1,000 V 8 レンデ

R 0.2~500 M Ω 7 レンデ

周波数特性 20 c/s~700 Mc
 ± 1 db

入力インピーダンス

2 pF + 1 M Ω 8 Mc で

寸法・重量 200×280×220

約 7 kg

N-13 A

高感度真空管電圧計



特長 ○1 mV フルスケール
で微小電圧が測れる。

○10 c/s から 10 Mc 迄感
度一定である。

○60 db の増幅器とし
て使える。

規格

測定電圧範囲 1 mV~300 V フル
スケール 12 レンデ

電圧目盛 0~1, 0~3

-12~+12 db

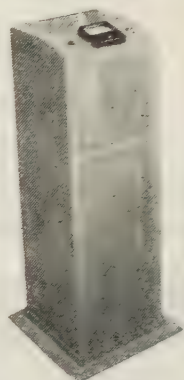
周波数範囲 10 c/s~10 Mc ± 1 db

入力インピーダンス 2 M Ω + 20 pF

寸法・重量 200×280×300

約 7 kg

N-21 高周波電力計



特長 ○DC から 1,000 Mc
迄の電力が測れる。

○0~100 ワット迄
負荷をかけて測れる。
V, S, W, R が良い。

規格 電力範囲 0~100 W
 $\pm 5 \%$

周波数特性 S. W. R

DC~200 Mc 1.1 以下

200~500 Mc 1.3 以下

500~1,000 Mc 1.8 以下

入力インピーダンス

50 Ω 又は 75 Ω

寸法・重量 400×960×400 mm

約 34 kg



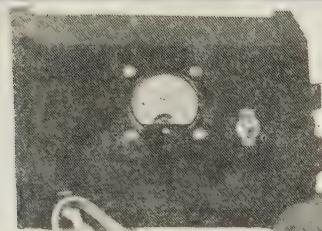
日本電波株式会社

東京都品川区東中延 4-1402

TEL (781) 7181 (代) 7155 (代)

カタログ呈

アイソレーター及び回転型抵抗減衰器



アイソレーター

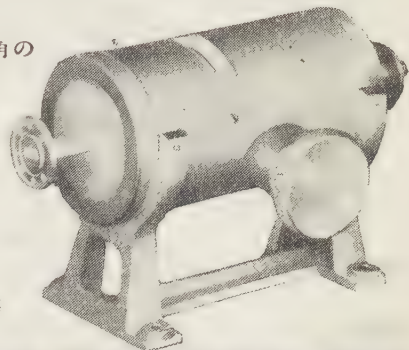
特長 このアイソレーターは
周波数に応じて励磁電流を調整し最大の逆方向損失が得られる

型 名	周 波 数 (G c / s)	導 波 管	挿 入 損 失 (d b)		逆方向損失 (d b)		V. S. W. R	寸 法
			中 心	帯 域	中 心	帯 域		
TFR-10	8.6 ~ 9.6	WR J-10 BR J-10	0.7 以下	1.0 以下	35以上	20以上	<1.25以下	300
TFR-24	22.5 ~ 24.5	WR J-24 BR J-24	0.8 〃	1.0 〃	35 〃	18 〃	<1.25 〃	150
TFR-34	34.5 ~ 36.8	WR J-34 BR J-34	0.8 〃	1.2 〃	30 〃	12 〃	<1.4 〃	150
TFR-50	44.0 ~ 50.0	WR J-50 BR J-50	1.0 〃	1.5 〃	30 〃	12 〃	<1.5 〃	130

回転型抵抗減衰器

型 名	周 波 数 (G c / s)	導 波 管	減 衰 量 (d b)	挿入損失 (d b)	V. S. W. R	寸 法	較 正 点
TPCA-24	22 ~ 25	WR J-24	0 ~ 40	0.5 以下	<1.2 以下	200	中心及び両端3点
TPCA-34	33 ~ 37	WR J-34	0 ~ 40	0.8 以下	<1.25以下	150	〃
TPCA-50	42 ~ 52	WR J-50	0 ~ 40	1.2 以下	<1.3 以下	125	〃

特長 この回転型抵抗減衰器は
(1) 周波数によって減衰量が変化せず、回転角のみに関係し、理論値とよく一致する
(2) 減衰量を変える際の位相変化がない



主要製造品目

各種電波分光装置 ● マイクロ波管 ● 電磁石等
の高安定電源 ● その他精密電子応用機器

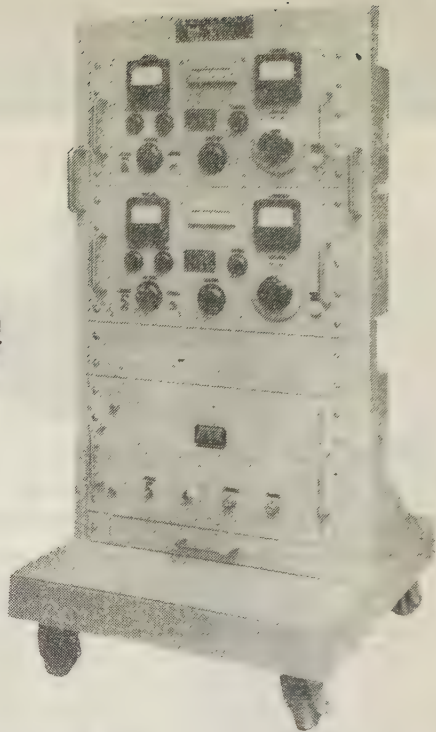
東京電気精機株式会社

本社 東京都千代田区神田仲町2の11
Tel. (251) 9186 (代) - 8 4414
工場 文京工場・立川工場

TV用 2信号 信号発生器

MSG-261 標準TV信号発生器

本器はTV受像機試験法の規格に準じて製作された信号発生器で、TV生産工場において受像機の総合試験および研究・調整に適し、映像および音声搬送波の周波数精度は各0.002%以内で、映像搬送波はビデオ周波数帯にて85%の変調が可能である。



性能

(1)映像搬送波信号発生部

搬送波周波数

第1～第12チャンネル中の
連続3チャンネル

チャンネル1	91.25Mc	チャンネル4	171.25Mc
2	97.25Mc	5	177.25Mc
3	103.25Mc	6	183.25Mc
チャンネル7	189.25Mc	チャンネル10	205.25Mc
8	193.25Mc	11	211.25Mc
9	199.25Mc	12	217.25Mc

周波数精度 $\pm 0.002\%$ 以内
出力電圧範囲 開放端にて $114\text{dB} \sim 0\text{dB}$
出力電圧精度 $\pm 1\text{dB}$ 以内

出力インピーダンス 75Ω VSWR 1.2以下
変調方式 振巾負変調 内部、外部
 $0 \sim 85\%$

内部変調周波数 400% 、 $\pm 5\%$ 以内
外部変調周波数特性 基準変調特性に対し

0.1Mc $\pm 1\text{dB}$ 、
 1Mc $+1\text{dB}$ 、 -1.5dB
 4Mc $+1\text{dB}$ 、 -3dB

波形歪 60% 矩形波に対しサグ
 5% 以下

非直線歪 85% 変調にて
 5% 以下

外部変調入力レベル 75Ω $1.4\text{V}_{\text{p-p}}$ 以下で
 85% 変調可能

S/N比 50% 変調にて
 50dB 以上

(3)電源入力 100V $50/60\%$ 3A

(2)音声搬送波信号発生部

搬送波周波数

第1～第12チャンネル中の
連続3チャンネル

チャンネル1	95.75Mc	チャンネル4	175.75Mc
2	101.75Mc	5	181.75Mc
3	107.75Mc	6	187.75Mc
チャンネル7	193.75Mc	チャンネル10	209.75Mc
8	197.75Mc	11	215.75Mc
9	203.75Mc	12	221.75Mc

周波数精度 $\pm 0.002\%$
出力電圧範囲 開放端にて $114\text{dB} \sim 0\text{dB}$
出力電圧精度 $\pm 1\text{dB}$ 以内

出力インピーダンス 75Ω VSWR 1.2以下
変調方式 FM (内外)、AM (内)
単独および同時変調、
 $75\mu\text{s}$ プリエンファンス

内部変調周波数 FM 400% 、 $\pm 5\%$ 以内
AM 1000% $\pm 5\%$ 以内
FM 25kc (100%)
AM 30%

変調度 FM 30% $\sim 15\text{kc}$ 、 $\pm 1\text{dB}$
以内

外部変調特性 600Ω 5V 以下にて、
FM 100% 変調可能
AM 100% 変調にて
 2% 以下

外部変調入力レベル AM 30% 変調にて
 5% 以下

S/N比 FM 100% 変調にて
 50dB 以上
AM 30% 変調にて
 50dB 以上



目黒電波測器株式会社

(国電エビス駅
より電バス
五本木下車)

東京都目黒区上目黒五丁目二六五八番地 電話 (712) 1166 (代) $\sim 9 \cdot 1160$


FOR

very accurate local time comparisons


generation of very accurate local time
with atomic or quartz oscillators

this new 113AR Clock is the ultimate



This new  113AR Frequency Divider and Clock makes possible precision time comparisons between stable oscillators and standard WWV or other transmitted time signals. This permits adjustment of frequency or time standards for greater absolute accuracy, and simplifies obtaining detailed records of drift rates, or time or frequency differences between oscillators in widely separated systems.

Propagation path errors can be averaged out and Doppler errors are virtually eliminated.

 113AR's unique optical gate (no contacts, no wear, cannot add jitter) and a directly calibrated precision phase shifter make possible the unique accuracy of the Clock providing a time comparison capability of $\pm 10 \mu\text{sec}$. Regenerative dividers, a phase-stable motor and precision gear train provide fail-safe operation not attained by pulse counting systems.

Model 113AR is conservatively designed from premium components, fully transistorized for longer standby battery operation, and meets performance requirements of MIL-E-16400. The unit is rugged, dependable and measures only 7" high.

HEWLETT-PACKARD COMPANY

Palo Alto, California, U.S.A.

SPECIFICATIONS

Input Frequency: 100 KC \pm 300 cps.

Input Voltage: 0.5 to 5 v rms.

Input Impedance: Approx. 300 ohms

Output Signals: (1) 1 pps, 10 v, 10 μsec rise time, approx. $20 \pm 10 \mu\text{sec}$ duration, into 5,000 ohms (2) 1 pps, 4 v, 10 μsec rise time, $100 \pm 3 \text{ msec}$ duration, from 50 ohms (3) 1 KC pulses, pos and neg, 4 v peak, 8 μsec nominal duration from approx. 5,000 ohms.

Frequency Divider: Regenerative; fail-safe.

Time Reference: Continuously adjustable, calibrated in 10 μsec increments.

Clock: Manual start, 24 hr dial.

Auxiliary Output: 1, 10 and 100 KC sine waves; 0.25 v rms from 1,200 ohms.

Power Requirements: 26 v \pm 2 v ( 724A Power Supply).

Size: 7" high, 19" wide, 19½" deep. Wt. 35 lbs.

Data subject to change without notice.



日本総代理店

関商事株式会社

東京都千代田区神田東福田町1番地 電話(866)代表3136

VOLCO

新製品 速応無歪自動電圧調整器

VOLCOの新製品 FRW型 速応無歪自動電圧調整器は確実な古典的回路方式により新しい設計技術で製作されたもので、極めて早い応答性と歪のない正弦波出力をもっております。ドリフトも殆ど有りません。

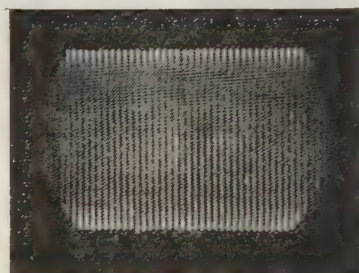
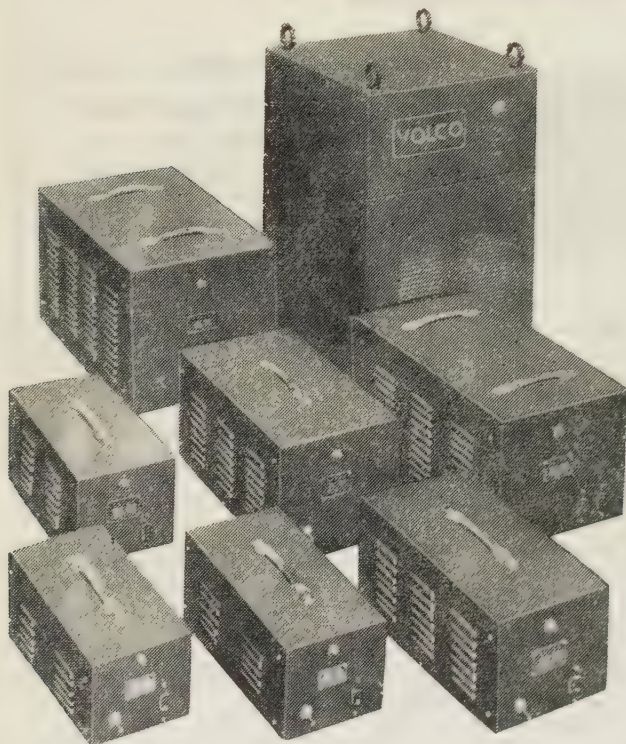
構造も簡単頑丈で真空管や半導体等を全く含んでおりませんから悪い使用条件で乱暴な取扱を受けても故障する心配がありません。

高温、多湿、振動、等周囲条件がわるく、早いはげしい電圧変動のある実際の現場で使用した場合に実質的に他のどの方式のものより安定度の高い、信頼性のある自動電圧調整器であります。

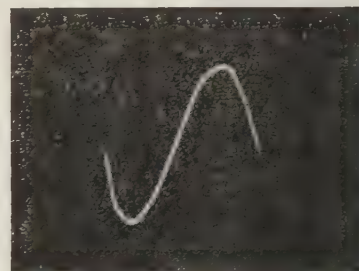
構造が簡単なので価格も低廉です。

30年以來の専門メーカーVOLCOの製品ですから

その他の性能も勿論最高です。



入力10%急昇



出力波型

サービス代行店

関東甲信越地区 吉沢精機工業株式会社

本社 東京都文京区湯島新花町35
Tel. (921)1042.7088.(929)0289

営業所 長野市横町20
Tel. 長野 4601

新潟市下大川前石油企業会館内
Tel. 新潟 (3) 0603

中京地区 株式会社朝日商会
名古屋市中千種区覚王山通3-34
Tel. (73) 0625-6.465.7964

関西地区 株式会社三栄商会

大阪市北区東堀川町11
Tel. 大阪 (36) 2556-7

中国・四国・九州地区 新川電機株式会社

本店 広島市三川町1
Tel. 中 (2) 9147-9・9140

支店 高松市南鍛冶屋町4-18
Tel. 高松 (2) 7343

福岡市上小山町3-4
Tel. 福岡 (2) 0514 (3) 6344

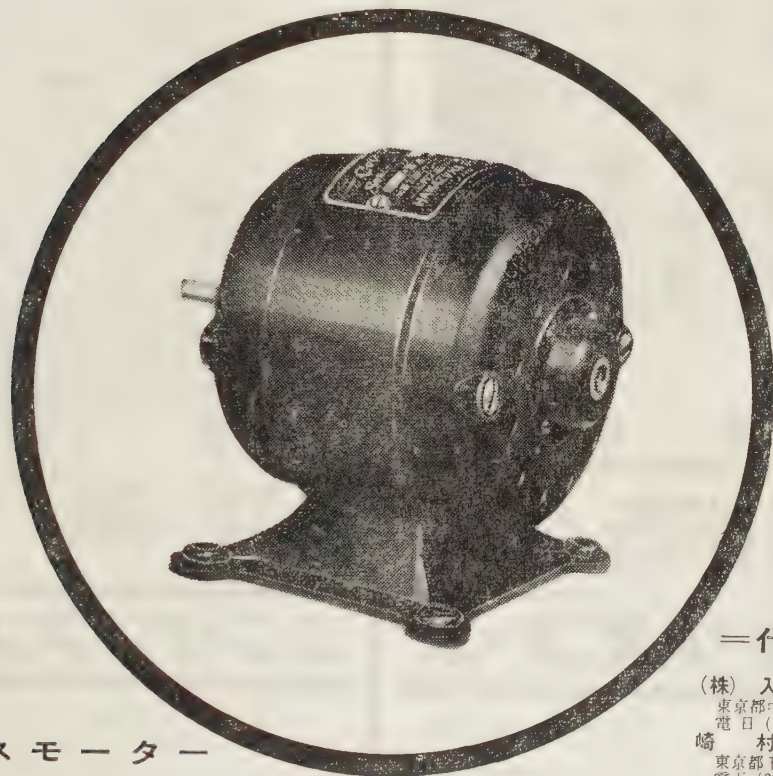
日本電源機器株式会社

東京都墨田区寺島町5-130 電話 (611) 2461・2971

出張所 大阪市東区谷町1-7 電話 (94) 1140

古き伝統と新しい技術

コロナモーター



シーリスマーター
シンクロナスモーター
キャパシタースモーター

は特に量産しております。

その他 小型モーターと発電機 については
御相談下さい。必ず御期待にそいます。

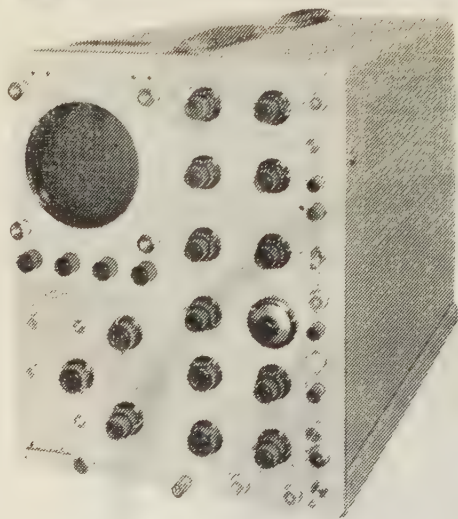
＝代理店＝

(株) 入江製作所
東京都中央区日本橋本町4の7
電 日(241)代表 5 2 8 1
崎 村 商 店
東京都千代田区神田五軒町42
電下(891) 9 9 5 3. 4 3 4 6
吉沢精機工業株式会社
東京都文京区湯島新花町35
電小(921) 1 0 4 2. 7 0 8 8
営業所 長野市横町20
電 話 長 野 4 6 0 1
新潟市下大川前石油企業会館内
電 話 新潟(3) 0 6 0 3
ユタカ電業株式会社
東京都港区芝新橋5の22
電芝(431) 1578. 1718. 4652. 8338
日本電化工業社
京都市下京区河原町通り四条下(日生ビル)
電下(5) 2 5 8 7. 9 2 4 7
沢電気機械株式会社
大阪府西区七佐堀通り2の8
電大(44) 3 7 1 5.(代表)～9
(株) 西山製作所
大阪府東区瓦町2の15
電 北(23) 5755. 229. 448
(有) 入江製作所
名古屋市中区大池町1の48
電中(24) 1 6 2 1. 6 3 8 9
岩谷産業株式会社
大阪府東区本町3
電船(26) 3251～5. 8251～5
営業所 東京・名古屋

(旧 社 名 花 塚 電 機 産 業 株 式 会 社)

コロナモーター株式会社

東京都目黒区東町52番地 電話 目黒(712)代表3146-9



瞬時現象！ 連続現象！

岩崎の

メモリスコープ

MS-5012

メモリスコープは、直接表示蓄積管のメモトロンを使用したシンクロスコープで、瞬時現象を必要な時間だけそのまゝとっておく事ができます。不要になれば直ぐ消去することも可能です。

性能

感 度 10mV/cm

周波数帯域 DC～1 Mc

掃引方式 内部・外部のトリガー又は自動
遅延掃引、電源掃引、外部掃引

掃引時間 1 μ sec/cm～12sec/cm

校正電圧 0.2mV～100V

6現象

シンクロスコープ

2要素ブラウン管を3組使用した、多現象用のシンクロスコープです。現象を記録するためには、このまま、接写装置で写真をとると、オシログラフの上に6現象を光学的に集めて連続記録するのと、2つの方法があります。後の方法の場合にはセットのパネル面に装置を取付けます。

性能

ブラウン管 5SP11A 3本

感 度 0.05 V/cm

入力インピーダンス 1 M Ω

周波数帯域 DC～500kc

掃引方式 トリガー掃引、単掃引及び自動
内部・外部・電源の正及び負

掃引時間 4 μ sec/cm～15msec/cm

校正電圧 0.05 V～100 V

電 源 100 V 50～60%



岩崎通信機株式会社

東京営業所 東京都中央区日本橋通り1の6 浅野ビル

電話 (271) 0461～8・0471～7

大阪営業所 大阪市東区淡路町5の2 長谷川ビル

電話 (23) 1616 (代表)

本社及工場 東京都杉並区久我山2丁目710 番地

電話 代表(391)2231・(398)2231

(お問合せは営業所又は出張所へお願いします) 出張所 札幌・仙台・金沢・名古屋・広島・福岡・熊本

半導体技術の先端をゆく

新電元のシリコン整流体

S2A, S5B, S8B, S16B, S16C

弊社のシリコン整流体については独自の技術をもって業界中、最も早く開発し政府の研究補助金交付を受けております。各種素子共量産化しており性能も著しく向上し御使用者の御信頼を頂いております。また、コントロールドレクチファイヤーの試作も完成し年内には市販開始の予定であります。

電 圧 表

型 名 及 び 級				尖頭逆耐電圧 (P. I. V.)	最大交流入力電圧 (r. m. s.)	定格交流入力電圧 (r. m. s.)
—	—	—	S16B5	50	35	15
S2A10	S5B10	S8B10	S16B10	100	70	30
S2A20	S5B20	S8B20	S16B20	200	140	60
S2A30	S5B30	S8B30	S16B30	300	210	90
S2A40	S5B40	S8B40	S16B40	400	280	120
S2A50	S5B50	S8B50	S16B50	500	350	150
S2A60	S5B60	S8B60	S16B60	600	420	180
S2A80	S5B80	S8B80	S16B80	800	560	240
S2A100	S5B100	S8B100	S16B100	1,000	700	300

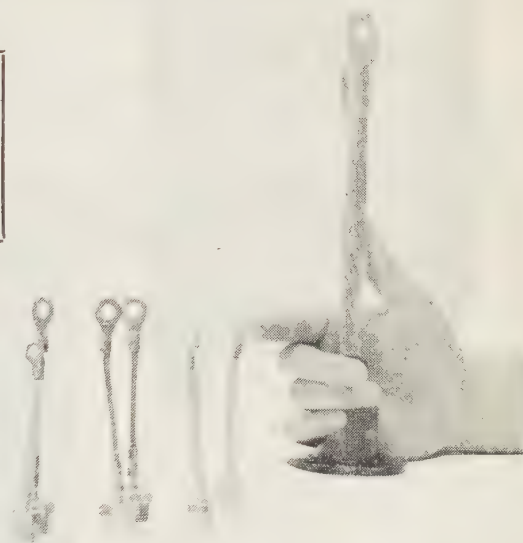
許容ジャンクション温度 -60~190°C

電 流 表

型 式	単相半波出力電流	
	自然空冷	強制風冷 (5 m/s)
S2A	1.5 A	
S5B	8 A	20 A
S8B	20 A	50 A
S16B	70 A	200 A

— 営 業 品 目 —

セ レ ン 整 流 器
ゲ ル マ ニ ウ ム 整 流 器
シ リ コ ン 整 流 器
磁 気 増 幅 器
自 動 電 圧 調 整 器
パ ワ ー ト ラ ン ジ ス タ



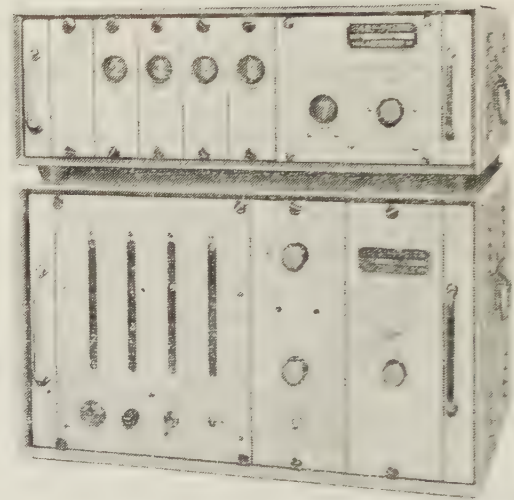
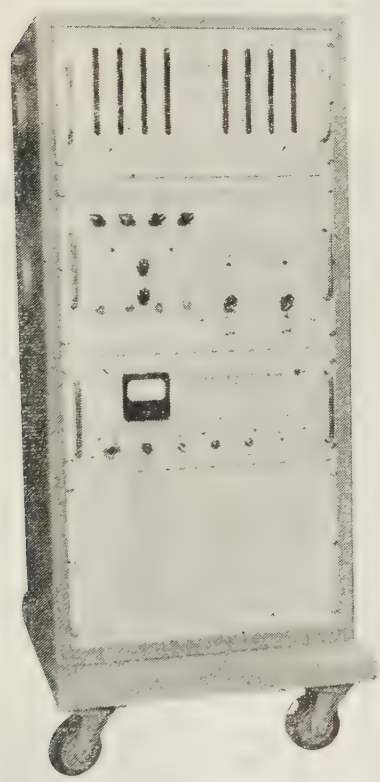
新電元工業株式会社

本 社 東京都千代田区大手町 新大手町ビル 電話 (211) 2571 代表
大阪出張所 大阪市北区角田町 阪急航空ビル 電話 (36) 3294~3295

デジタル計測の小野測器

ET-51 型 瞬時デジタル回転計

0.1 秒で.....R.P.M 直読
 回 転 数.....8,000 R.P.M 迄
 精 度..... ± 1 R.P.M 以下
 (但し 600 P/R ピックアップ使用の場合)

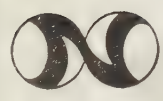


FF-443 型 デジタル回転比計

回転比を.....パーセント直読
 回 転 比.....0~100 %
 精 度..... ± 0.1 % 以下

動作切換による計数表示

計 数 器	回転数測定	回転比測定
Aチャンネル	R.P.M	R.P.M
Bチャンネル	R.P.M	%回転比



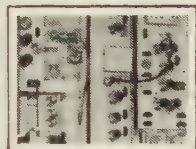
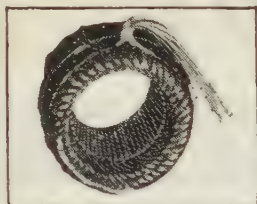
株式会社 小野測器製作所

東京都大田区下丸子 257
 電話 東京 (738) 1900 (731) 9937

高絶縁仕上に

Silox Pelgan Spray

速乾性シリコーン・ワニスで、極めて高い表面抵抗と耐アーキ性を有し、各種強弱電機器の表面仕上用として使用されている。



		Silox Pelgan 7	Silox Pelgan C	Silox Pelgan Spray
粘 度 (c.p)		100~200	100~150	
絶縁耐力 (v/0.1mm)	常態	6200		5900
	受水后 (24h)	6000		5500
体積固有抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$ 25°C)	常態	1.8×10^{16}	1.1×10^{15}	1.2×10^{16}
	浸水后	1.6×10^{16}	1.1×10^{15}	1.2×10^{16}
表面固有抵抗 (Ω) 25°C	常態		3.8×10^{15}	$> 2.0 \times 10^{16}$
	浸水后		1.0×10^{15}	$> 2.0 \times 10^{16}$



Trade Mark
Reg. J. Pat. Off

富士高分子工業株式会社 (旧エ・ア・ブラウン・マクフアレン(株) 目黒研究所)

本社・目黒研究所 東京都目黒区上目黒3丁目1846 電話(713) 0195(代)
東京連絡所 東京都中央区銀座2丁目3 米井ビル 電話 京橋(561) 5141-5
大阪連絡所 大阪市東区今橋4丁目1 三菱信託ビル 電話 北浜(23) 727-4210

特約店 岸 本 産 業 株 式 会 社

本社 神戸市生田区栄町通3の40 電話(3) 2861~4
東京支店 東京都中央区日本橋本町3の2 電話(671) 5106~9・9137~9
大阪支店 大阪市東区伏見町4の34 電話(23) 3521~4・6073~4

Silicone News

Dow Corning 5 Compound

碍子絶縁 } に応用
塩塵害防止 }

型録は、下の点線囲みの部分を切抜き
御請求下さい。

カタログ送附されたし

氏 名

住 所

勤務先
(会社名)

電気学会雑誌 1-35

エ・ア・ブラウン・マクフアレン株式会社

東京都中央区銀座2~3 米井ビル 電話(561) 5141~5
大阪市東区今橋4 三菱信託ビル 電話(23) 727-4210

first in
silicones

Dow Corning

FIRST IN SILICONES

Taiko タイコーチョッパー

DC-AC カレントチョッパー

高周波 カレントチョッパー



チョッパーは微小直流入力を交流に変換し、あるいは周波数可変の直流に転換する機能を有するもので、一般自動制御器を始めとして直流増幅器、アナログ計算器の増幅器、自己平衡電位差計、マイクロ・ホルトメータ等記録測定関係の各分野に広く使用されます。

形 名	TCP-55 A*	TCP-561 A*	TCP-58	TCP-58 A	TCP-57
接 触 形 式	SPDT	DPDT	SPDT	SPDT	SPDT
周 波 数	50 CPS* ₂ 60 CPS	50 CPS* ₂ 60 CPS	50 CPS* ₂ 60 CPS	50 CPS* ₂ 60 CPS	400 CPS
駆 動 電 圧	6.3 V	6.3 V	17.5 V	6.3 V	6.3 V
コ イ ル 電 流	70 mA(50 CPS)	140 mA (50 CPS)	40 mA(50 CPS)	100 mA (50 CPS)	70 mA (400 CPS)
接 点 容 量	1.5 V 1 mA	1.5 V 1 mA(入力側) 50 V 5 mA(出力側)	100 V 0.3 A	100 V 0.3 A	50 V 0.1 A
接 触 率 定 格	45 %	45 %	45 %	45 %	45 %
(使用範囲)* ₃	15~75 %	15~75 %	15~75 %	15~75 %	15~75 %
雑音(100 k Ω 入力)	1 μ V 以下	1 μ V 以下			
使用温度範囲	-10°C~45°C				

*₁ TCP-55 A および TCP-561 A は高絶縁チョッパーにて接点間および接点筐体間絶縁抵抗は最小 10¹² Ω を保証致します。

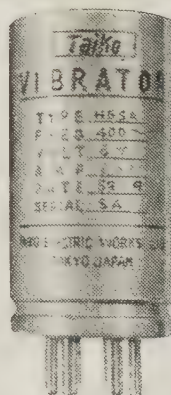
*₂ 駆動周波数は特に御指定のない限り 50 CPS にて調整致します。

*₃ 接触率は御希望により使用範囲にて任意に調整致します。

タイコーバイブレーター

有極型の新設計による極めて安定なる 400 CPS バイブレーターで、連続定格 15~30 VA、寿命約 500 時間にて、セルシンモーターその他 400 CPS 電源用として、800 CPS プレート変調直流断続電源用ならびに小型状電源用として好適であります。

型 名	H 6 S A	H 6 N A
型 式	同 期 型	非 同 期 型
周 波 数	400 CPS	400 CPS
入 力 電 圧	6 V	6 V
時 能 率	85 %	85 %



株 式 会 社 大 興 電 機 製 作 所

本社・東京工場 東京都品川区東中延 4 の1402 電話 (781)7155(代)7181(代)6411
矢板工場 栃 木 県 矢 板 市 電話(矢板) 36. 49. 63

理化電機の 高性能自動平衡記録計器

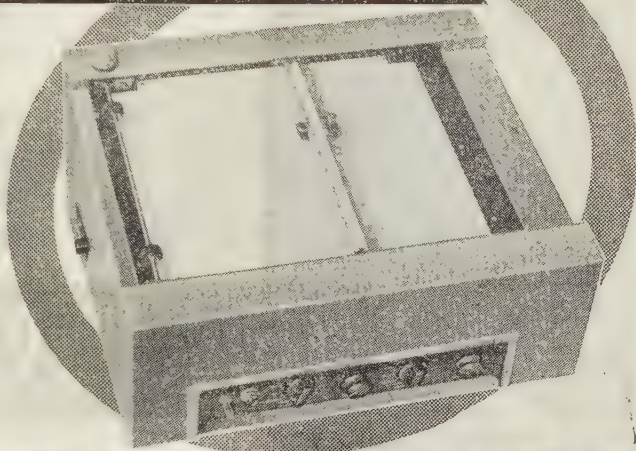
平面型 X-Y 軸記録計 (D4型)

性能

1. 測定電圧 5mV又は10mV
2. 追従速度 X・Y共1秒 (高速型 0.5秒)
3. 記録紙寸法 250×250mm
4. 確度 ± 0.3%

特長

- 記録紙を1枚巻セトする事も、ロール紙を使用して連続セトする事も出来ます。
- 励磁回路を有し制動特性が良好で正確に鮮明に記録出来ます。
- 電源、電圧の変動に対し指示が影響を受けません。
- 操作が非常に簡便です。



高速平衡記録計 (ER-G1, ER-G2)

(電子管式自動平衡型)

机上用平面型

性能

1. 測定電圧 10mVフルスケール
2. 追従速度 (ER-G1 0.7秒)
(ER-G2 0.3秒)
3. 記録紙幅 250mm
4. 確度 ± 0.3%
5. 記録紙送り速度
2,4,8,16,48cm 毎分,毎時の10段切換

取扱が簡便・高性能で研究用に最適です。
他に二素子ER-H1, ER-H2があります。

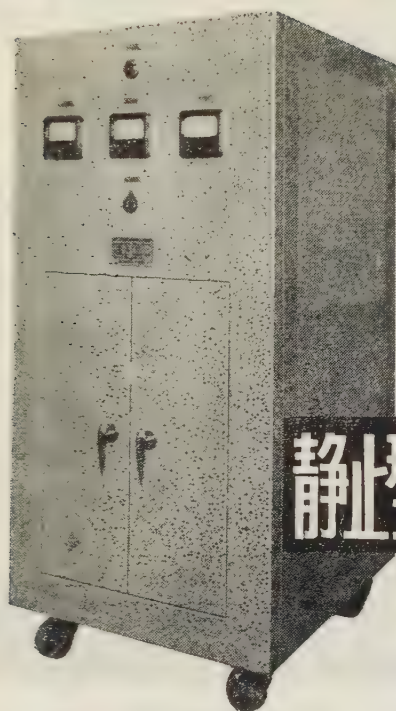
営業品目

X-Y軸記録計 (ドラム型, 平面型)
直流磁化特性自動記録装置
二素子高速平衡記録計
極座標記録計
曲線自動追従装置

株式会社 理化電機研究所

東京都目黒区中目黒 3 - 1119

TEL (712) 3549・(713) 8319



100V 5kVA

静止型磁気増巾器交流自動電圧調整器

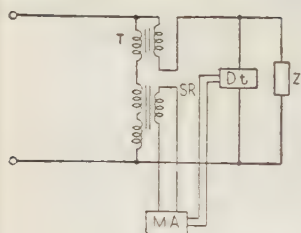
これまで種々の原理のものが考えられていますが、実用に供されている主なものは ①並列共振型 ②静止的挿入電圧加減法 ③昇減圧タップ無接点切換法の3種です。当社の方式は ②によっています。

また、MA-L型では検出装置に基準定電流装置を使用していますので、破損、劣化の懸念される部分は全くなく信頼度をますます高めています。

標準性能および製作容量

仕 様	M A - H 型	M A - L 型
出 力 精 度	100または200V $\pm 0.2\%$ (0.1%製作可能)	100または200V $\pm 0.5 \sim 1\%$
入 力 電 圧	100または200V $\pm 15\%$	100または200V $\pm 15\%$
周 波 数	50または60% $\pm \frac{1}{4}\%$	50または60% $\pm \frac{1}{4}\%$
負 荷 変 動	0 ~ 全 負 荷	0 ~ 全 負 荷
負 荷 力 率	遅 れ 6 0 %	
波 形 歪 率	5 % 以 内	5 % 以 内
応 答 時 間	0.2 秒 以 内	0.4 秒 以 内
標 準 製 作 容 量	100.200.300.500V A 1.2.3.5.10K V A	3.5.10.20.30K V A
検 出 器	定 電 圧 放 電 管	磁 気 式 定 電 流 装 置

回路図



T : 昇圧変圧器
MA : 磁気増巾器

SR : 可飽和リアクトル
Dt : 検出器

A V R の総合専門メーカー

済美電気株式会社

東京都 世田谷区 代田1の353 TEL 414局 5156 (代表)

日 米 英 特 許

HIGH
PRECISION
PATENTED

世界水準を上まわる！
J. MICRO MOTOR

科学技術庁長官賞受賞
特許庁長官賞受賞
大河内記念賞受賞
朝日新聞発明賞受賞
科学技術庁注目発明選定

高信頼度 高追従性 安定性能

D. C. SERVO MOTOR, SERVO MOTOR GENERATOR

マイクロモーターは独特の構造をもつ極めて精巧な微小形低損失直流電動機で、短起動時定数、高信頼度を有し、自重 100 g のモーターの能率 73 % という 1/2 HP の直流電動機の能率に匹敵する高性能モーターである。

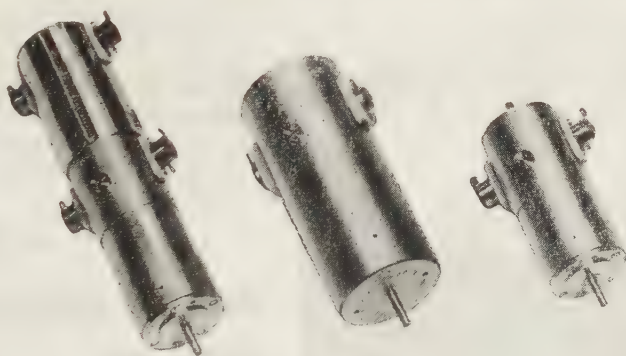
特に使用経過による作動電流の漸増傾向は全くなく性能は均一かつ安定である。

- | | | |
|-----|--|--|
| 特 徴 | (1) 各個特性の偏差が極めて少い | (6) $-50^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ で作動 |
| | (2) 直径 18 mm 重量 43 g | (7) 定格出力時定格回転数 3,000, 5,000 r.p.m. |
| | (3) 高能率 0.5 W 型 52 % 2 W 型 73 %
(連続定格出力時) | (8) 180 g の加速度に耐える |
| | (4) 定格負荷連続作動 2,000 時間以上 | (9) Hg 10^{-3}mm において作動 |
| | (5) 右転, 左転特性一致 | (10) 短起動時定数 0.02 秒以下 |

製造品目 微小形低損失直流電動機
微小形低損失直流発電機

微小形速度計発電機付直流電動機
信号用直流電動機

当社で定めた規格テーブルの数値と納入製品性能との差異はなく、詳細な仕様規格によって納入します。



タコジェネレーター内蔵サ
ーボ用 マイクロモーター

能率 73 %, CL-4 B
強力マイクロモーター

CL-2 A
マイクロモーター

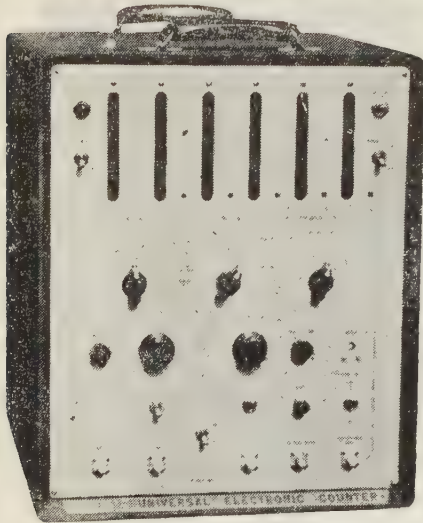
トランジスタテープレコーダー用普及品もございます

日本マイクロモーター株式会社

東京都目黒区下目黒 4-851 番地 電話 (713) 代表 2137~9

- TR - 110

Universal Electronic Counter



・ TR - 110

周波数、時間の精密測定には

ユニバーサル・カウンタが最適です。

永らく御電話で御迷惑をおかけしましたが、5月26日より、下記の通り変更いたしましたからお知らせいたします。

- TR - 110 仕 様

周波数範囲：0.0001cps ~ 2.5Mc

時間範囲：3 μ sec ~ 100,000sec (27.8h)

精 度：(±1カウント/計数された総数) ±安定度

安 定 度：1×10⁻⁶/h, 2×10⁻⁶/week

ゲート時間：0.001, 0.01, 0.1, 1, 10sec, 及び手動、

未知周波数の1周期又は10周期。

時間単位：1 μ sec, 0.01, 1msec, 0.1sec, 及び外部。

電 力：100v ± 10%, 50/60cps, 約 320W.

形 状：520 (h) × 390 (w) × 550 (D). 約35kg.

性 能

周波数測定

10cps ~ 2.5Mcの周波数が精密に直読で測定できます。

周 期 測 定

非常にゆっくりな周波数の1周期又は10周期でゲートを閉鎖させ、その間の時間を測定することができます。

時間々隔測定

スタート、ストップ・チャンネル共、進行波形にたいして-300Vか+300Vの間の任意のトリガー電圧レベルと、その電圧レベルにおけるトリガー波形の傾斜を正進行又は負進行にえらぶことができます。

それによって一断的に波形上の任意の2点が決り、その2点間の時間が3 μ sから10⁻⁵sまで測定できます。

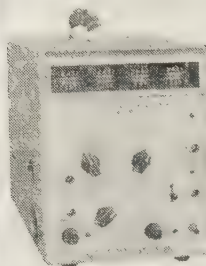
周波数比・時間比測定

低い方の周波数の1周期又は10周期でゲートを閉鎖させ、その間高い方の周波数を計数させることができます。計数値は低い方の周波数を1又は10とした周波数比・時間比をあらわします。

- TR - 124B

Universal Electronic Counter

Digital Pet



現場におけるオーディオ領域の周波数、160,000 rpmまでの回転数等の測定が手軽に行なえる超小型カウンタで、現場における持ち運びや操作を考慮して、特にけんろうにつくられています。

タケダ"理研"

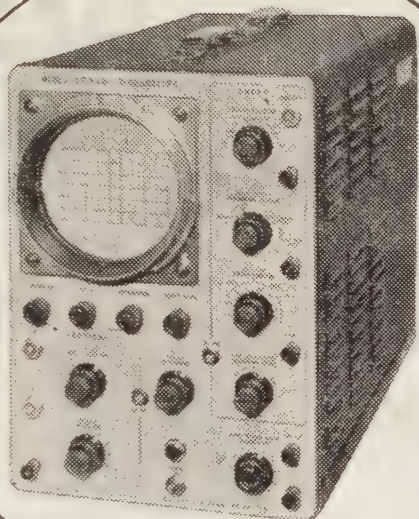
工業株式会社

東京都練馬区旭町285

TEL (938) 4111 (代表)



計測器



CT-521B型
正価 360,000円

規格

CT-521B型

- 使用ブラウン管 130H-B1A
- 垂直軸偏向感度 $0.05\text{V/cm} \sim 20\text{V/cm}$
- 周波数特性 $\text{dc} \sim 15\text{Mc}$ 偏差 3db
- 時間軸掃引速度 $0.1\mu\text{sec/cm} \sim 5\text{sec/cm}$
- 掃引方式
トリガー掃引、繰返し掃引

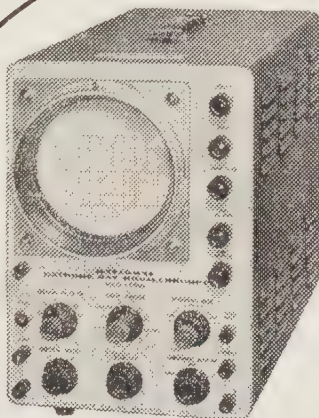
$\text{dc} \sim 15\text{Mc}$

デジタルシンクロスコープ

規格

CT-511A型

- 使用ブラウン管 5UP1(F)
- 垂直軸偏向感度 $0.1\text{V/cm} \sim 30\text{Vdc/cm}$
- 周波数特性 $\text{dc} \sim 1\text{Mc}$ 偏差 3db
- 時間軸掃引速度 $3\mu\text{sec/cm} \sim 300\text{msec/cm}$
- 掃引方式
トリガー掃引、繰返し掃引



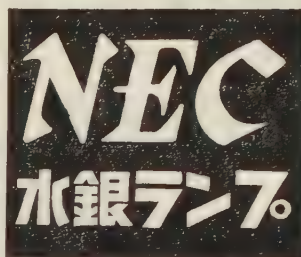
CT-511A型
正価 145,000円

カタログ進呈 横浜市港北区綱島町
松下通信工業株式会社

生産の合理化により大巾の値下げに成功しました。

60,000ルーメンの強力照明！

NECは高能率・長寿命・均質・堅牢なNEC水銀ランプを製造しておりますが、更に優秀な色補正や特殊色を与えることに成功しております。産業・交通・公共・保安その他の施設にNEC水銀ランプをご使用になって、はじめて能率的・経済的な経営が行えると自信をもっております。NEC水銀ランプには透明水銀ランプ・蛍光水銀ランプ・シルバー水銀ランプ・ゴールド水銀ランプ・レフレクター水銀ランプその他各種照明器具があり用途に応じて有効な照明効果をあげることができます。



特殊蛍光体の使用により10%も明るい
NECシルバー水銀ランプ



NEC

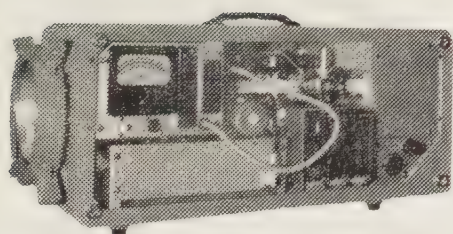
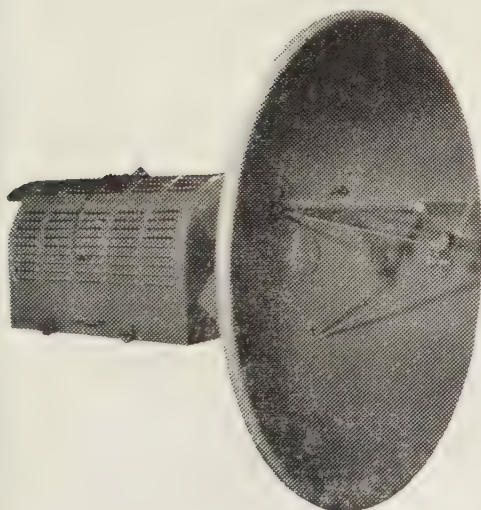
新日本電気株式会社

本社 大阪市北区梅田2第一生命ビル 電話(36) 3271(代表)
支社 東京都港区芝西応寺町55番地日電別館ビル 電話(451) 9671(代表)



13000MC 帯 全トランジスタ化 マイクロウェーブ通信装置 《I 3 G—6 0 Tr》

- クライストロン管 1 本のほか全部トランジスタ化された
世界最初の中継方式
- 13000 M C 帯を用いた世界最初の多重電話中継方式
- 最大 6 0 通話路迄の中継が可能



TR-13GE-5 送受信装置

回路構成並に特性

空中線はパラボラ型反射鏡を用い 送受信波の
偏波面を互に直交させて送受共用を行い送信側
の共用フィルターを省略し 送信部はクライス
トロン発振器とその変調回路より成り送信出力
は約 100 m w その一部は方向性結合器を用いて
分離し受信回路の局部発振信号としている 中
間周波増巾器は四極トランジスタを用い集中泸
波器により帯域を制限し A G C 回路としては
ダイオードによる可変減衰器を用い振巾特性の
変動を最少におさえた 復調器はダイオードリ
ミッターとディスクリミネーターを用い電源は
交流 100 又 200 V を直流 24 V に直しトランジ
スタ定電圧発振器を用いて昇圧すると共に安定
化してクライストロンを動作させている従って
24 V の蓄電池を附加すれば無停電方式とするこ
とができる 本装置に 1.7 m の空中線を用いる
と約 10 km の区間でフェーディングマージン約 40
db 約 20 km の区間で約 36 db を得て各通話路の % は
50 db 以上となります

主 要 営 業 品 目

電話機・交換機・伝送通信装置・ラジオテレビ
放送装置・無線通信装置・電子計算機・自動制御
装置・電子管・半導体製品・写真模写電送装置
超音波装置・音響機器・テレビ・トランジスタ
ラジオ・家庭電化用品など……………



日本電気

藤倉型 温床用

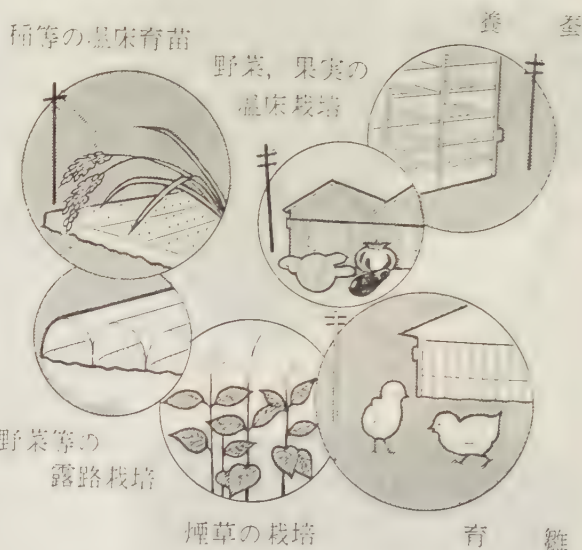
耐熱ビニル電熱線

温床用耐熱ビニル電熱線は、耐熱性が一般用ビニルより格段に優れた「耐熱ビニル」を特殊合金線の上に被覆したもので、温床ケーブルとして最適のものであります。

特 長

- (1) 耐熱ビニルを使用していますので熱的に短時間で傷むことがありません。
- (2) 機械的に強く、耐久性があります。
- (3) 日光に対して強い。
- (4) 電氣的に完全に絶縁されていますから感電、漏電のおそれはありません。
- (5) 土中または水中で使用しても絶縁は低下しません。
- (6) 定格電圧により鮮明に色別していますので取扱いが便利です。

主なる用途



藤倉電線株式會社

本 社 東京都江東区深川平久町1の4 電話 (641) 1111・1131・4156
 工 場 東 京 ・ 沼 津 ・ 小 坂
 販 売 店 大阪・福岡 出張所 名古屋・仙台 駐在員 札幌

SA型OFケーブル

今般弊社では、各線心にアルミ被をほどこし、これを3心撚り合わせた型式のOFケーブル（以下SA型と略称）を開発し、北海道電力株式会社殿に納入いたしました。

これは従来の共通鉛被の3心OFケーブルと比較して、次の特長があります。

（1）アルミは鉛に比し比重は1/4であり、かつ機械的強度も鉛よりはるかに大きいので、シースの厚さは薄くてよく、しかも補強層の必要がないので、ケーブルの重量は50～60%程度に軽減することができます。

（2）ケーブル重量が軽いから、布設の際の条長を長くすることができ、接続箇所数も減じ得る。

（3）F&G社式セグメント導体を使用するから、導体表面は平滑となり耐電圧特性が向上し、さらに同一導体面積では導体外径が大となり、電位傾度を小さくすることができる。

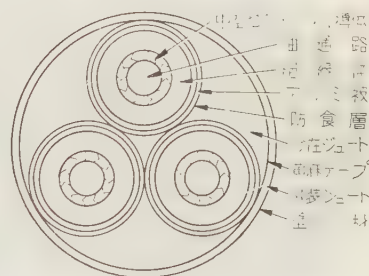
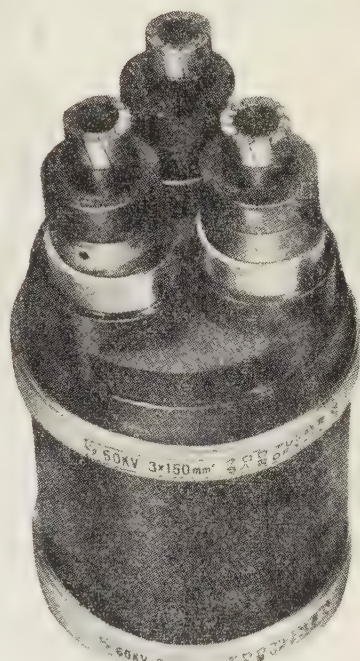
（4）ケーブル内の総油量が少なくなり、油構の容量は小さくてよい。

（5）万一事故でシースに孔があいても、油の漏洩量は非常に少ない。従って急傾斜地布設の如く系統油圧を高くする場合も、長日時油洩れのまま送電可能となり、油洩れ修理も適当な時機を見て行ない得る。

以上総合いたしますと、共通鉛被OFケーブルに比し、このSA型は総建設費を低減することができ、かつ保守も容易な信頼性の高い送電線路となり得ます。

なお本ケーブルの構造の一例は、次のとおりであります。

公称電圧		70kV
導体	全導体直径	150 mm
	セグメンタル導体	
	中心油道直径	12 mm
絶縁体厚		8 mm
アルミ被厚		1.3 mm
防食層厚		約 1.5 mm
3心燃台外径		約 88 mm
黄麻テープ厚		約 2.0 mm
シユート厚		約 2.0 mm
ケーブル径		約 96 mm
概算重量		13.900 kg/km



なおケーブル断面は右図のとおりであります。



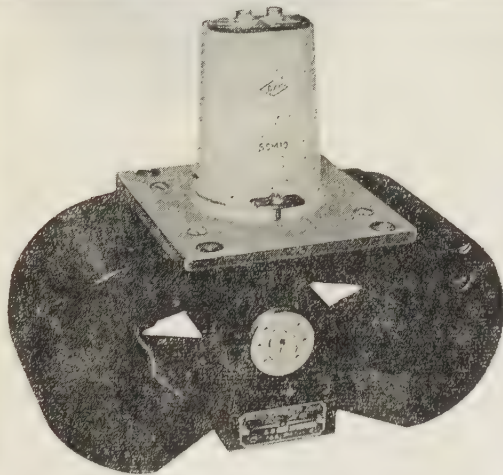
大日電線株式会社

本店 尼崎市東向島西之町 8 大阪 (48) 5781 (代表)

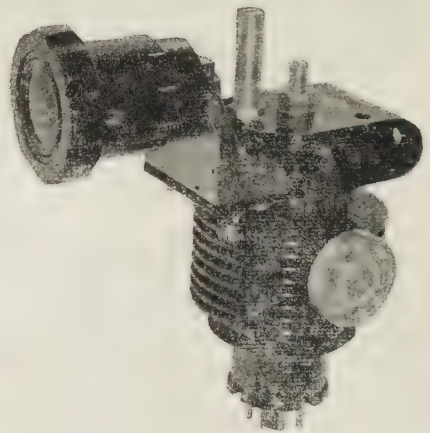
大阪事務所 大阪市北区梅田町7の3(梅田ビル) 大阪 (36) 5551 (代表)

東京 福岡 名古屋 札幌 仙台 台北

ミリ波時代をつくる・・・ 沖電気工業の ミリ波管！



マグネトロン 50 M 10



クライストロン 50 V 10

規 格

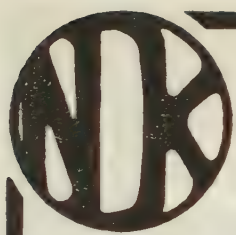
	50 M 10	35 M 10	50 V 10	35 V 10	70 V 10
波 長 (mm)	$6.0 \pm 2\%$	$8.6 \pm 1\%$	6 ~ 7	8 ~ 9	4 ~ 3
出力 (kW/mW)	20	40	40	40	15
陽極電圧 (kV)	12	13	2.3	2	3.25

このほか、24~50 Gc 帯の各種ミリ波マグネトロン、ミリ波クライストロンの製作を行っております。御相談下さい。

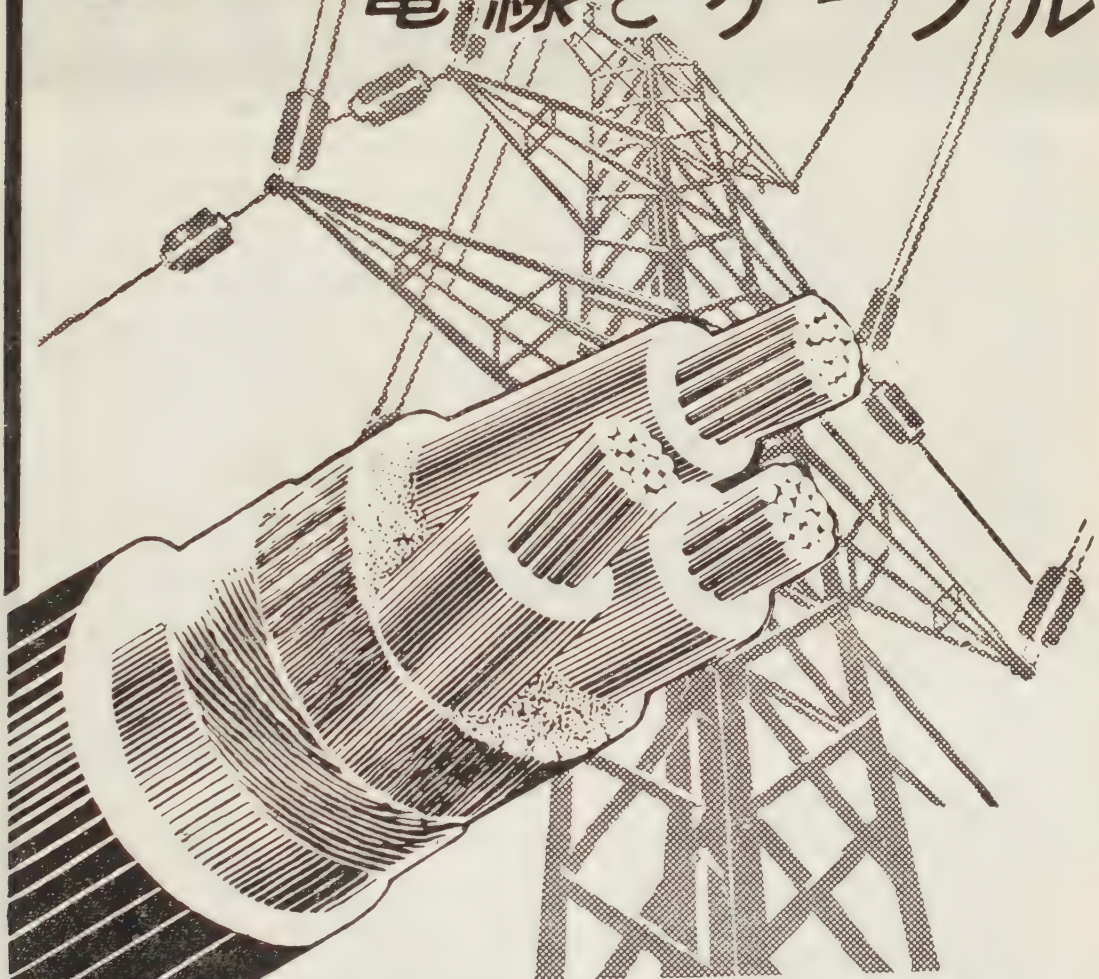
- カタログ進呈
乞紙名記入

沖電気工業株式会社

東京都港区芝高浜町 1 0
電話 三田 (451) 2191・9271



高度を行く
電線とケーブル



日本電線

本社 東京都墨田区寺島町2-8 電・611・0101-7
営業部 東京都中央区築地3-10 (懇和会館) 電 (541) 2021-9
営業所 大阪・福岡・名古屋・仙台・札幌

マグネトロン用変調管

JRC水素入サイラトロン

高電圧・大電力用

水素入サイラトロンはマグネトロン変調用として、レーダに広く用いられております。近年はレーダのみならず工業用にも使用されるようになりました。当社では、小はMT管より大は数拾MW出力に至る迄のシリーズを完成し、更に新管種を開発研究中であります。

水素入サイラトロンは各管共酸化物陰極を有するグリッド制御3極放電管であります。一般のサイラトロンと異なる所は、最も質量の小さい水素を封入し、特殊な構造により、高電圧に耐え大電流をとり得ることで、パルス動作に適当した設計となっております。

サイラトロン シリーズ完成！

管 種	陰 極		最 大 陽 極 定 格				最大損失 係 数 (注1)	最 大 せ ん 頭 出 力 (kW)	外 国 製 相 当 管	備 考
	電圧 (V)	電流 (A)	せ ん 頭 順 電 圧 (V)	せ ん 頭 逆 電 圧 (V)	せ ん 頭 電 流 (A)	平均電流 (mA)				
1G58P	6.3	2.3	1,000	1,000	20	50	0.1×10^9	10	1258	7ピンMT管
1G45P/6130	6.3	2.25	3,000	3,000	35	45	0.3×10^9	55	3C45/6130	6130は1G45P の高空用
1G35P	6.3	6.1	8,000	8,000	90	100	2×10^9	360	4C35	
1G25P	6.3	8.0	12,000	12,000	120	150	3.8×10^9	720	—	
2G22P	6.3	11	16,000	16,000	325	200	3.2×10^9	1,600	5C22	
3G49P	6.3	19	25,000	25,000	500	500	6.25×10^9	6,000	5949	水素リザーバ付 リザーバ電圧 =3~5.5V
4G48P	6.3	29	25,000	25,000	1,000	1,000	9×10^9	12,500	5948	水素リザーバ付 リザーバ電圧 =3~5.5V

注1：せん頭陽極順電圧，せん頭陽極電流，パルス繰返数の積



日本無線株式会社

東京都港区芝田村町1の7 第3森ビル
大阪市北区堂島中1の22
福岡市新開町3の53 立石ビル

電 話 東 京 (591)(代)9311(代)9321
電 話 大 阪 ㊶ 4631 ~ 6
電 話 福 岡 ㊹ 0277

Takaoka

仙
台
・
東
京
・
名
古
屋
・
大
阪



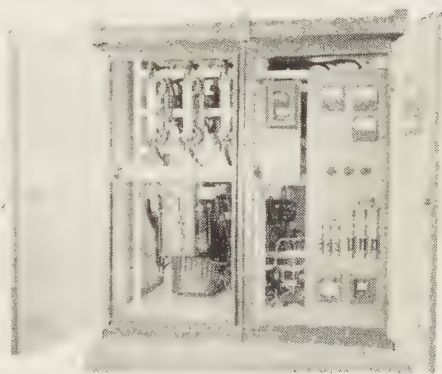
株式会社 高岳製作所

関東電気協会より推奨品第1～4号
に指定されました。

簡 易

高 岳 キュービクル

わが国で最初に高岳が開発しました。長年、電力会社の変電所設備を製作して来た優れた技術が十分に生かされています。簡単安全な構造、安定した運転、今迄の常識では考えられなかった狭い設置場所、その上低廉な価格、どれ一つをとって見ても高圧受電設備として、高岳の簡易キュービクルが最適ということがわかります。なお、御注文頂けば直ちに御納めできます。



高岳の簡易キュービクルは、ビル・工場・商店の電気施設の心臓としてその役目を立派に果しています。

満5ケ年と
実績2万余台に
成長した

ミキオン 3Eリレー

特許 218736

実用新案1件

出願済

— 3相平衡過負荷, 3相不平衡過負荷, 単相, 逆相電流保護 —

◆低圧電動機保護に **3E-25 型** を!!

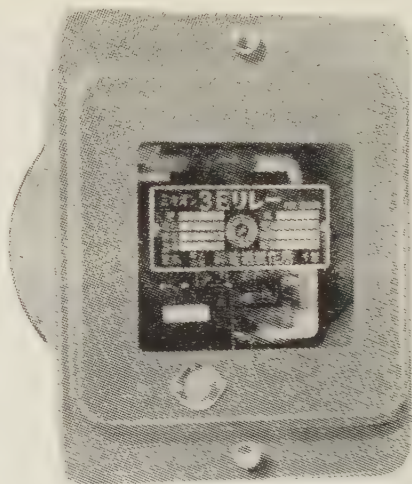
定限時々限 25 秒 (於限時調整 No. 25) で動作時限を長時間に改良したと同時に**限時調整装置付**としましたから起動時間の長いモータにも, 短いモータにも調節が自由になりました。起動電流は漸減しますから起動時間 40 秒程度のモータにも適用できます。

◆高圧籠形電動機保護に **3E-35 型** を!!

定限時々限 35 秒 (於限時調整 No. 10) で高圧及び低圧大型の籠形モータで駆動される大型送排風機等の起動時間の長いものに好適で, **限時調整装置付**ですから起動時間の短いモータにも適用できます。

◆高圧巻線形電動機の保護に **3E-2 型** を!!

定限時々限 2 秒 (於限時調整 No. 10) で高圧及び低圧大型の巻線形モータ, 整流子モータに好適, **限時調整装置付**ですから高圧受配電, 変圧器用にも適用できます。



◆数々の表彰

3E-25 型 解影丸胴埋込

ミキオン 3E リレーは科学技術庁長官より輝く **実用発明のタイトル** を, 第8回東京利権寺堂明展覧会に於て **優秀賞 (都知事賞)** を受賞し, 昭和 33 年度全国発明表彰に於て **発明賞** を受賞しました。又昭和 34 年度 **渋沢賞** を授与されて, その優秀性を認められています。

◆ミキオンの呼称について

弊社の 3E リレーは数々の表彰をうけるだけの優秀な性能を有していますので, 他のものと区別するため商標登録された **ミキオン** の愛称を冠して **ミキオン 3E リレー** の名称でおすすめることになりました。

◆その他の製品

- ミキオン 3 ESP リレー, 5.5 kW 以上のスターデルタ電動機の保護継電器
- ミキオン SPP リレー 1F 型, 動作表示器 1 個付の単相運転防止継電器
- 3F 型, 動作表示器 3 個付で, どの相が断線したかを表示する単防リレー
- ミキオン GSP リレー 集団運転電動機欠相保護用
- ミキオン 低水位警報継電器, 深井戸ポンプ制御用
- ミキオン 液面制御継電器, 給排水用



株式
会社

幹 電 機 製 作 所

東京営業所 東京都千代田区神田和泉町 1-8 電話 東京(866)0937・(851)9226
本社 工場 千葉県千葉市登戸町 2-165 電話 千葉(2) 1873・5550
成東工場 千葉県山武郡成東町字辺田 電話 成東 1 4 7



地下埋設の ケーブルを 長期間保護する ネオプレン被覆

ある大きな公益事業会社では、湖畔から内陸ターミナルにケーブルを施設するには、地下埋設が最善の方法であることを知りました。ケーブル被覆に要求されたことは次の点です。被覆は過度の湿気、酸性土壌、電気作用による侵害に耐えねばなりませんでした。

115,000 ボルトのケーブルの地下埋設の部分は、湖畔からターミナルまで、デュポン製ネオプレン被覆で、酸性土壌・アルカリ・湿気から保護されています。

被覆として選ばれたのはデュポンのネオプレンでした。デュポンのネオプレンはこうしたあらゆる劣化作用に耐え、ケーブルに最大の保護を保証します。また地上にあっても、ネオプレン被覆は日光・オゾン・風化・極端な温度や摩耗にも耐えます。その結果、維持費は節減され、取換え回数も減少します。

ワイヤーやケーブルを使用する時は、線渠においても、地上でも、地下埋設の場合でもぜひデュポン製ネオプレンで被覆したケーブルをご指定下さい。詳細につきましては下記弊社にお問合せ下さい。なお資料に関しましては何卒クーポンをご利用下さい。

製造元 E. I. du Pont de Nemours & Company (Inc.)
Wilmington, Delaware, U. S. A.

NEOPRENE



REG. U. S. PAT. OFF.

創立1802

より良き生活のため、より良き製品を化学を通じ……

DU PONT 日本 総代理店

アメリカン・トレーディング・カンパニー(ジャパン)リミテッド
東京都千代田区芝公園7号地の1 SKFビル 電話(431)5140~9
大阪市南区安堂寺橋通り2の47 電話(26)6593~8

(御 芳 名)

(所属部署)

(御 社 名)

(御 住 所)

このクーポンをお切り取りの上、上記代理店宛お送り下さい
資料を差し上げます。 "Jour. Ins. Elec. Engr."-9/60-J.

最大の容量を誇る!!

A-24000-1号

ゲルマニウム整流装置



日本電信電話公社

東京総合局用A-24000-1号ゲルマニウム整流装置

交流 $3\phi 3300\text{ V } 50\text{ c/s}$, 直流 $55.2\text{ V } 24000\text{ A}$ 自動制御および遠隔操作方式

特 長

- 1) 限られた局舎内で床面積の縮小, 保守・点検・操作に便なるユニットサブステーション配置
- 2) ホール効果を利用した大電流計による計測
- 3) 大容量切替電磁開閉器の採用
- 4) 保守・点検上簡便な特殊構造の整流体トレイ方式の採用
- 5) 負荷変動に対処し, 経済性を加味した端電池方式ならびに負荷に応じた自動並列運転方式の採用
- 6) 模擬母線と計器・表示灯をそなえた監視ベンチによる一括制御方式(監視および遠隔操作)の採用

営 業 品 目

シリコン・ゲルマニウム・セレン整流器・セレン光電池・

ホール大電流計・スポット溶接機・合成樹脂塗料



オリジン電気株式會社

本社・工場 東京都豊島区高田南町1-195 電話 東京(982)1161(代) 3155(代)
大阪営業所 大阪市福島区上福島南1-47 電話 大阪(45) 2 4 0 5 (代)
福岡出張所 福岡市下戸町 10 電話 福岡(2) 6 8 8 3

こんな小さなものから...
こんな大きなものまで...

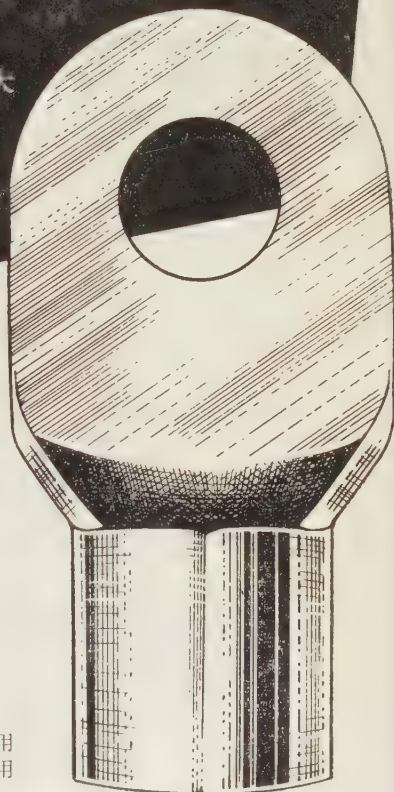


電線サイズ
0.25 mm²



原寸大

無半田圧着端子には
15,000種もあり、あらゆる
電気結線の問題を
完全に解決いたします。



電線サイズ
325 mm²



ソリストランド



P.G.



P.I.D.G.



D.G.



旗型



ファストン



アルミ線用



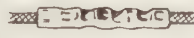
耐熱用
高温用



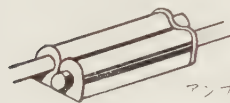
テーバー
テクニク



プリント配線用



ノールドワイヤ用



アンブリー



ストリップ
ターミナル

上記各種端子の圧着用工具として、
手動工具から圧搾空気式、油圧式、
電動式、自動圧着機まで各種取揃
えてあります。これを用いれば誰
でも簡単に完全な電気結線ができ
ます。

日本総販売店

東洋端子株式会社

資本金 二億円 取締役社長 本田敬之
東京都中央区京橋2-1荒川ビル Tel. (561) 0481 代表
営業所：大阪・名古屋・福岡 駐在事務所：札幌

製造

日本エー・エム・ピー株式会社

住友電工の

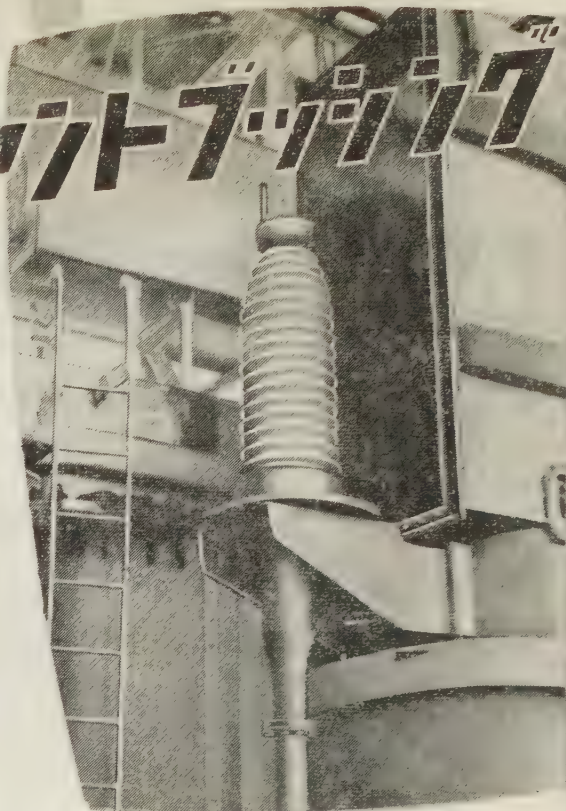
高圧エレファントブッシング

超高圧

近年、電力需要が急増した結果、都心においても多くのケーブルが用いられ、60～70 kV 級から 140 kV 級にいたる大変電所、発電所が建設されつつあります。

このような場合、変電所、発電所の建設敷地に制約を受け、その建設費が高騰する結果できるだけ大きさを小さくすることが要請されるようになってきます。したがってケーブルと変圧器とを直結し、露出充電部分を少なくすることによって発電所の大きさを縮小することが有効であります。これがいわゆるエレファントブッシングといわれるものであります。

当社は、いち早くエレファントブッシングの優位性を知り、研究試作を重ねた結果、下表の受註実績を得て、わが国において本分野の指導的地位を獲保、ますます発展しようとしております。



287.5 kV OFケーブルエレファントブッシング（東京芝浦電気株式会社における組立試験）

エレファントブッシングの受註実績

納入先	布設地	公称電圧 (kV)	ケーブルサイズ (mm ²)	ケーブル 種類	回線数	布設年 (昭和)
電源開発	奥只見	275	1×200	OF	1	35
三菱電機	東北パルプ	66	3×100	OF	1	35
東京電力	横須賀火力	66	3×80	OF	1	35
中部電力	瑞穂南武平町	77	3×325	OF	1	35
住友化学	新居浜	66	3×100	OF	1	35
小野田セメント	恒見	66	3×100	OF	1	35
東海製鉄	名古屋	22	3×150	SL	3	35

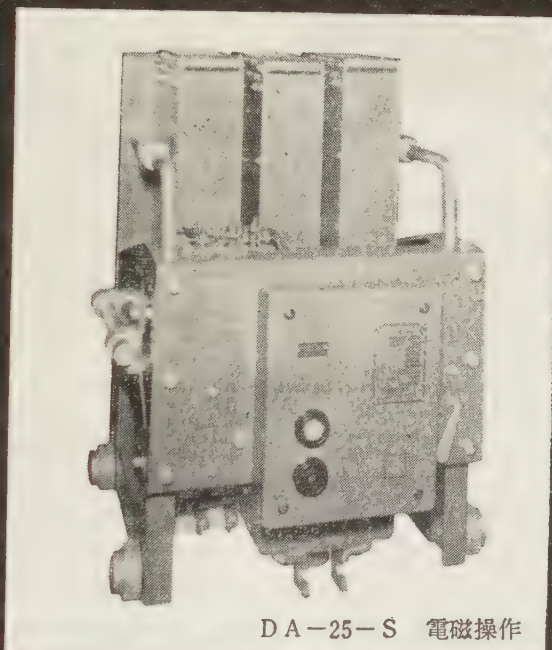
住友電気工業株式会社

本社 大阪市此花区恩貴島南之町六〇
 支社 東京都港区芝琴平町一
 支店 名古屋・福岡 製作所 大阪・伊丹・名古屋・横浜

引出形 ACB



井上 DA形 600V定格



DA-25-S 電磁操作

定格し断電流 25,000 A, 50,000 A, 75,000 A のものを標準とし、ハンドルによる手動操作でも、ばねに蓄積されたエネルギーを利用した高速投入方式であります。

直列過電流引はずし装置は、負荷電流値の程度に応じて選択動作する瞬時・短限時・長限時の3つの引はずし要素を有します。センター式低圧配電設備として多数納入し御好評を得ています。

井上

株式会社 井上電機製作所

本社・工場 京都市外向日町 電話 京都(5)8691(代)
向日町-601(代)

PAK型 戸上電磁開閉器 シリーズ

500万回以上の機械的動作試験に合格，中央反撥パネ式により構造簡単，超小型軽量

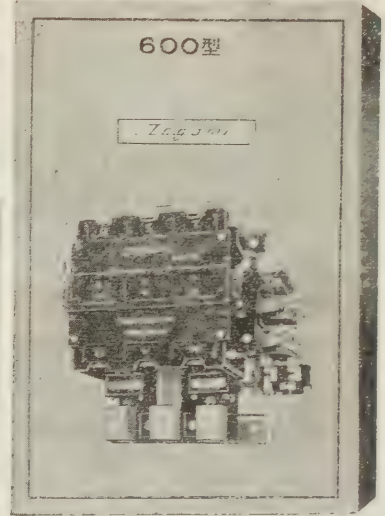
PAK 11型



3 HP以下用一継電器用

本器は，独特の技術による最優秀品で，他の追従を許さず，なお11型は超小型で，3馬力以下用および，電磁継電器としても好評噴々型式名は定格電流と同じです

600型

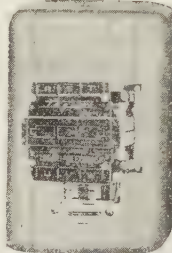


PB-2型
押釦の外観

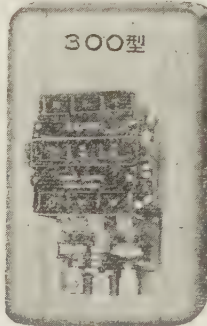
75型



150型



300型



11型



18型

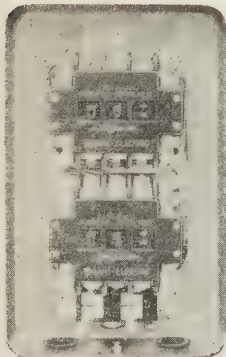


35型



……近く7型(7A)を出します これは4a 4b迄の 接触を付け得るので 電磁継電器用に適します 乞御期待 ……

モーターの起動用，オートメーション継電器用



RSK 可逆型



GCM コンビネーション

本器は一般には，上図の如く熱動継電器付とし，閉鎖型外函を有しますが，使用目的により，防食型，防爆型等，各種出れます(左図)尚制御用配電盤等には中身だけでも使用します

型式別 最大使用KW (HP) 表 (3P)

電 圧	200/220V		400/440V		取付得る 補助接触
	KW	(HP)	KW	(HP)	
11型	2.2	3	2.2	3	1a 1b 其他
18 "	4.0	5	5.5	7.5	1a 1b(2a2b)
35 "	7.5	10	11	15	" " "
75 "	19	25	30	40	2a 2b 固定
150 "	37	50	55	75	" " "
300 "	75	100	110	150	" " "
600 "	150	200	220	300	" " "

PAK 型 | 閉鎖型 外函付 電磁開閉器(継電器付)

PAK-I | 電磁開閉器 だけ(外函熱動継電器無)

PAK-II | 電磁開閉器 熱動継電器付(外函なし)



PA-KT 防食型



KZM 新防爆型

戸上電機製作所

東京営業所一港区芝虎ノ門 実業会館ビル …… (電・(591)3900~2)
 大阪営業所一北区芝田町44 芝田ビル …… (電・(34)3271~4)
 名古屋営業所一名古屋駅前 住友銀行ビル …… (電・(54)0323・2723)
 福岡営業所一天神町 天神ビル …… (電・(4)0860・0868~9)
 札幌営業所一大通西5丁目 大五ビル …… (電・(2)3669(4)4910)
 東京戸上商事一干代田区神田旭町 大番ビル …… (電・(251)5285・7545・9645)
 大阪戸上商事一北区芝田町44 芝田ビル …… (電・(36)5191・5192)
 名古屋工場一熱田区花表町3ノ18 …… (電・(88)7487・9420)
 本社工場一佐賀市大財町385 …… (電・佐賀(代表)4121)

マルチレンジメーター“D”シリーズ

Hansen

ELECTRONIC INSTRUMENTS

本シリーズは学校並びに研究室で使用
せられる単独メーターがその測定範囲
を切換えられる事に依り使用の便と
経費の軽減を計りその目的に充分
な強度と適当な精度を備えて
居ります。



model DRM-5B
抵抗計

88×140×220mm

型 名	定 格	荷 変	備 考
DVM-5 5レンジ直流ミリボルト meter	0~30m, 60m, 120m, 300m, 600m, V	2.5%	内部抵抗 1.67K Ω /V メーター感度 510 μ A
DVMC-5 中点零5レンジ直流ミリボルト meter	15m, 30m, 60m, 150m, 300m V	2.5%	内部抵抗 1.67K Ω /V メーター感度 510 μ A
DVM-10 レンジ直流ボルト meter	0~1.2, 3, 6, 12, 30, 60, 120, 300, 600, 1200 V	2.5%	内部抵抗 1.67K Ω /V メーター感度 510 μ A
DVMC-10 中点零10レンジ直流ボルト meter	0.6, 1.5, 3, 6, 15, 30, 60, 150, 300, 600 V	2.5%	内部抵抗 1.67K Ω /V メーター感度 510 μ A
DAV-9 9レンジ交流ボルト meter	0~1.2, 3, 6, 12, 30, 60, 120, 300, 600 V	2.5%	内部抵抗 1.67K Ω /V メーター感度 510 μ A
DMMM-5 5レンジ直流マイクロアン meter	0~30 μ , 60 μ , 120 μ , 300 μ , 600 μ A	2.5%	電圧降下 120mV メーター感度 20 μ A
DMMC-5 中点零5レンジ直流マイクロアン meter	15 μ , 30 μ , 60 μ , 150 μ , 300 μ A	2.5%	電圧降下 120mV メーター感度 20 μ A
DMA-11 11レンジ直流ミリアン meter	0~0.6m, 1.2m, 3m, 6m, 12m, 30m, 60m 120m, 300m, 600m, 3000m A	2.5%	電圧降下 240mV メーター感度 510 μ A
DMAC-11 中点零11レンジ直流ミリアン meter	300 μ , 0.6m, 1.5m, 3m, 6m, 15m, 30m, 60m, 150m, 800m, 1500m A	2.5%	電圧降下 120mV メーター感度 510 μ A
DAM-8 8レンジ交直両用アン meter	0~1.2, 3, 6, 12 A	DC 2.5% AC 5%	電圧降下 240mV メーター感度 530 μ A
DRM-5B 5レンジオーム meter	R \times 1, \times 10 \times 100 \times 1000, 0~20Meg Ω 目盛線0.1 Ω カラ20Meg Ω まで	指示角度で全 目盛の 2.5%	中点目盛10 Ω , 100 Ω , 1K Ω , 10K Ω , 100K Ω , (自蔵電池で1M Ω まで)

その他の営業品目

回路計, ブラウン管オシロスコープ, 真空管電圧計, パネルメーター, 真空管試験器, バッテリーメーター,
直読容量計, 直読自己誘導計, 直読周波数計

ハンセン電機工業株式会社

東京都千代田区神田神保町3の3 TEL (301) 1221, 2925

総合カタログ 千50

— 日測電子の —

デジタル計測器

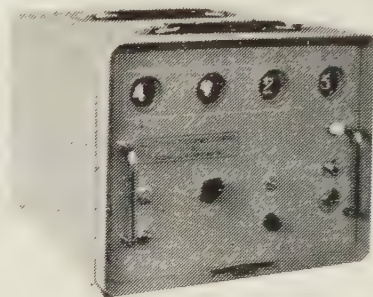
(各種エレクトロニックカウンター)
カタログ贈呈

周波数

回転数

時間

PS-301



デジタル周波数 / 回転数計

PS-302

遠隔
表示



リモート インジケーター

記録

4C-4R



デジタル プリンター

NISSOKU

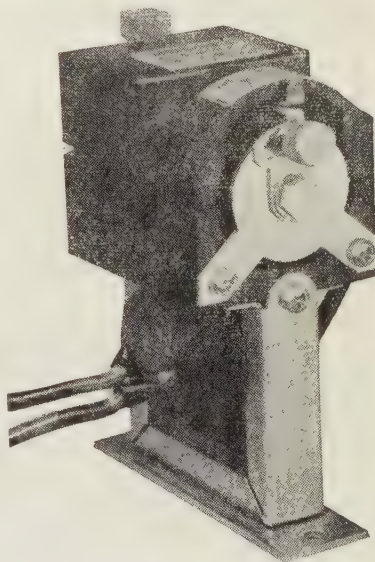
日測電子工業株式会社

東京都港区芝金杉浜町70 TEL (451) 1815

渦巻式熱動型過負荷継電器 (単極式)

新製品 略称 SOC リレー 1 型 (特許実新出願済)

過負荷電流保護 単相運転防止 内部故障保護
渦巻式バイメタル特性と飽和変流器特性とを応用した新しき高性能保護継電器
SOC リレーにより電動機安全運転に 事故焼損防止に、

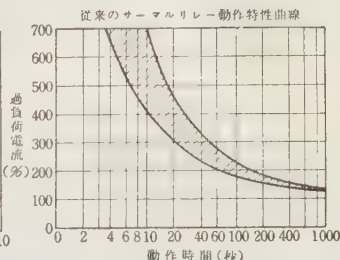
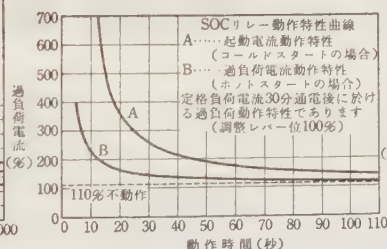
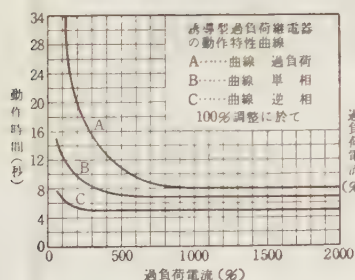


SOC リレーについて

SOC リレーは弊社製造の特許 DOC リレー最大電流表示過負荷継電器と同一動作原理直熱式バイメタルを利用したモーター保護継電器です。SOC リレーは非常に小型化され性能は DOC リレーとほとんど同一性能効果である。高性能優秀なる誘導型過負荷継電器の動作特性と十分比肩し得るもので特に起動性、作動性、確実性、堅牢性、簡易性、低廉性において他に類がないと確信し、この度渦巻式熱動型過負荷継電器 SOC リレー 1 型を完成発売する事になりました。SOC リレーは過負荷電流 単相運転防止 内部故障主巻線輪の焼損防止等の保護効果に適切な程に面目を一新したもので、その優秀さは御使用頂く事によって御理解願える事と信じます。

SOC リレーの主なる特徴

1. 起動特性 起動電流 400% に対し起動時限 11 秒、起動電流 500% に対し起動時限 14 秒の裕度があるから特殊電動機をのぞき普通コ型電動機ならば全負荷投入起動運転が出来る。
2. 動作特性と保護効果 電動機定格の 110% 負荷電流では不動作である最も重視されている単相電流は 170%~200% 程流れます。この 170% 過電流に対し動作時限は 15 秒で動作し 200% 過電流に対し動作時限は 12 秒で確実に動作し単相運転防止、過負荷電流、内部故障等保護を完全に果します。
3. SOC リレーは、周囲温度に影響されな、線型変位係数が備えてありますから船舶の様な航海地点によって周囲温度の変化のはなはだしい船舶補機電動機の保護に適し高温場所においても常に一定した電流で動作が出来る。
4. SOC リレーの電流調整、SOC リレーは引きはずし電流目盛方式(閉路式)を標準として採用電流調整範囲は定格電流の上下 10% に調整が出来ます。御希望により 15% または 20% 調整値も製作可能な開路式も製作いたします。
5. SOC リレーは過電流対量大である。SOC リレーは渦巻式バイメタルと飽和変流器の両特性の結合により起動特性と動作特性がいちじるしく改善せられ、また変流器飽和特性により定格電流の 20 倍過流してもバイメタルに流れる電流は自動的に制限されるためバイメタルは安全に保持されると同時に過大電流に対しても保護効果の完璧を期しております。
6. SOC リレーと他の過負荷継電器との比較。従来のサーマルリレー・誘導型過負荷継電器・SOC リレーの 3 つの動作特性曲線表により比較して御理解願えれば幸甚です。

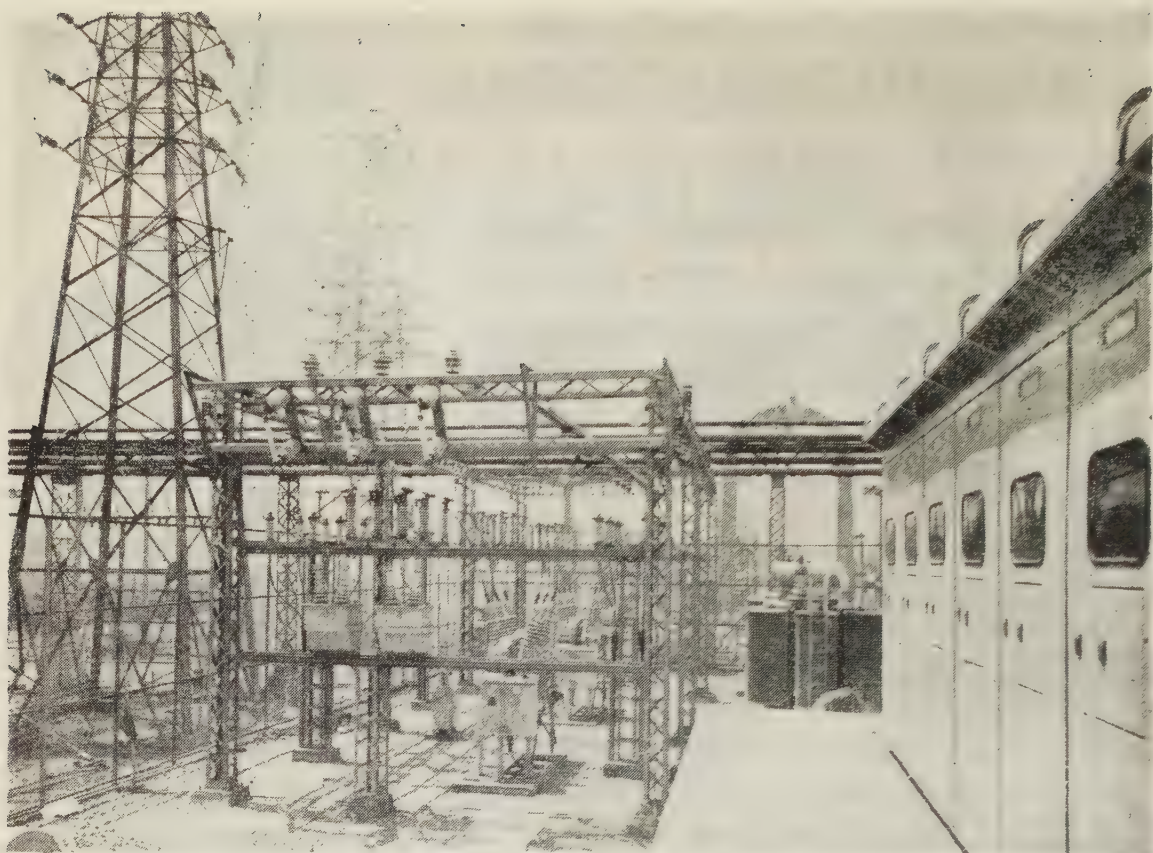


電気計器・継電器・変成器



ヒラ井電計機株式會社

本社工場 京都市下京区中堂寺北町 28 電話壬生 (84) 1912・2428 番
第二工場 京都市右京区山ノ内山ノ下町 2 電話壬生 (84) 9 6 5 0 番



最近設備投資が増加している折柄、多く、産業で受電設備がセットで使用されています。

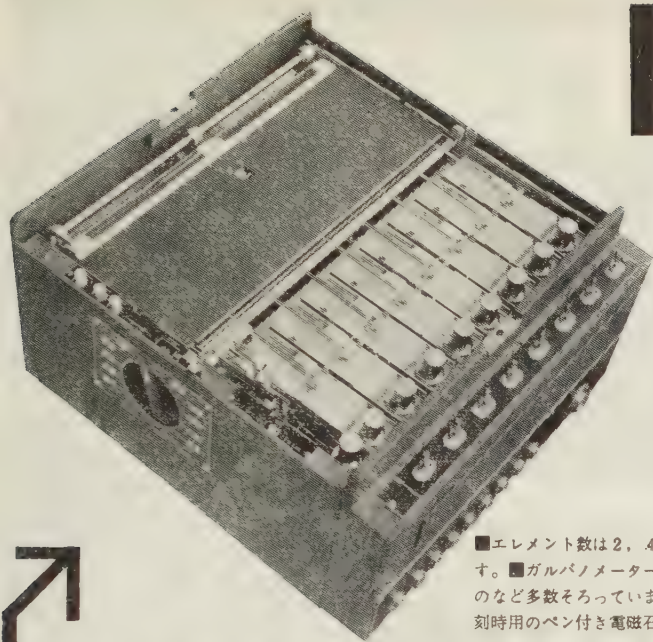
すぐれた技術が優秀・堅牢・安価な製品を生み出アターナービス、行きこいた立正の受電設備を御利用下さい。

なお詳細は下記営業所代理店に御問合せ下さい。



株式会社 立正電機製作所

本社及工場	京都市南区吉祥院中島町4	TEL (5) 9176
東京支社	東京都千代田区内幸町2の1(高千穂ビル3階)	TEL (591) 4451~3
大阪営業所	大阪市北区堂島船大工町15(堂栄ビル2階)	TEL (312) 3938
仙台営業所	仙台市国分町174(富国生命館4階)	TEL (3) 1583
広島営業所	広島市的場町144(円道ビル2階)	TEL (4) 8919
九州営業所	福岡市大名町2の98(大名町ビル2階)	TEL (5) 2210
株式会社加茂川電機商会	札幌支店 札幌市北三条東2丁目	TEL (3) 3712
日東興業株式会社	東京都千代田区有楽町1の3	TEL (591) 8510~3
株式会社堀内商会	金沢市下堤町65	TEL (3) 4866~7
菱電社	新潟市礎町通二ノ町	TEL 4417・3707
古庄電機商会	名古屋市中区新栄町7の3	TEL (9) 2781~2
東邦電機株式会社	名古屋市中村区広井町3の98	TEL (54) 7633~4
安宅産業株式会社	大阪市東区今橋5の14	TEL (26) 7691・8233
入江商会	大阪市北区堂島上1の10	TEL (34) 2956~9
明光商会高松駐在所	高松市玉藻町1の812	TEL 2 6 9 4



150 c/s までの

広範囲な電気現象を

精密に
容易に
低廉に
記録する

インク書きオシログラフ

I R - 201型

■エレメント数は2, 4, 6, 8の4種類で最大振巾±25mmのときは6エレメントまでです。■ガルバノメーターは最高150%の周波数特性のものおよび0.7mA/cmの高感度のものなど多数そろっています。■記録速度は電氣的に広範囲に切換えられます。■信号用と刻時用のペン付き電磁石装置を備えています。■リモートコントロールが可能です。

INK WRITING OSCILLOGRAPH



三栄測器株式会社

本社 東京都新宿区柏木1-95 Tel (371)7117-8, 8114-5
工場 東京都武蔵野市吉祥寺1635 Tel (022-②)4941, 7825

DC AMPLIFIER

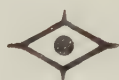
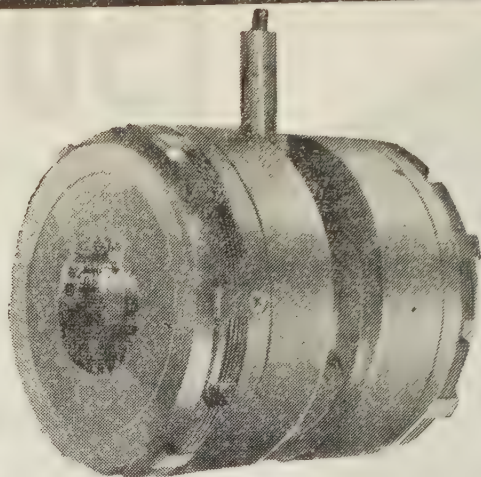
直流増幅器 DA-103型

- ★ 理・工・医のあらゆる分野における測定と解析に好適
- ★ インク書きオシログラフと電磁オシログラフのいずれにも組合せられる
- ★ 高感度
- ★ 電池不要
- ★ 電源電圧変動の影響をほとんど受けない
- ★ 操作簡便
- ★ ラックパネル式の構造で通信用標準架台に組込める
- ★ 低廉な価格



主要製品

インク書きオシログラフ、電磁オシログラフ、二現象ブラウン管オシロスコープ、ブラウン管連続撮影装置、直流増巾器、歪記録増巾器



神鋼

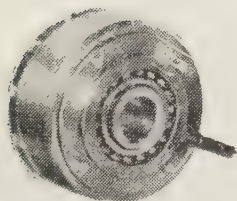
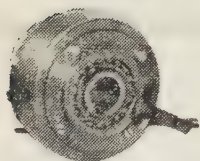
小型湿式多板

工作機械、産業機械の 自動化と能率向上に 電磁クラッチ 電磁ブレーキ

電磁クラッチ ブレーキ コンビネーション

特長

- 寸法最小……最小の寸法で最大のトルクを發揮させます
- 残留トルク1%以下……独特の設計により残留トルクを画期的に少なくしました
- 刷子不要……装備並びに保守が容易です
- 調整永久不要……取付後の調整は一切不要です
- 取付簡単……取付部の歯切・加工を要しません



小型乾式多板電磁クラッチ・ブレーキも製作いたします。その他1000KW以上の大容量の電磁クラッチまで各種の豊富な型式を擁しています。



神鋼電機株式会社

本社 東京都中央区西八丁堀1の4
営業所 東京 大阪 名古屋 神戸 小倉 広島 札幌 富山

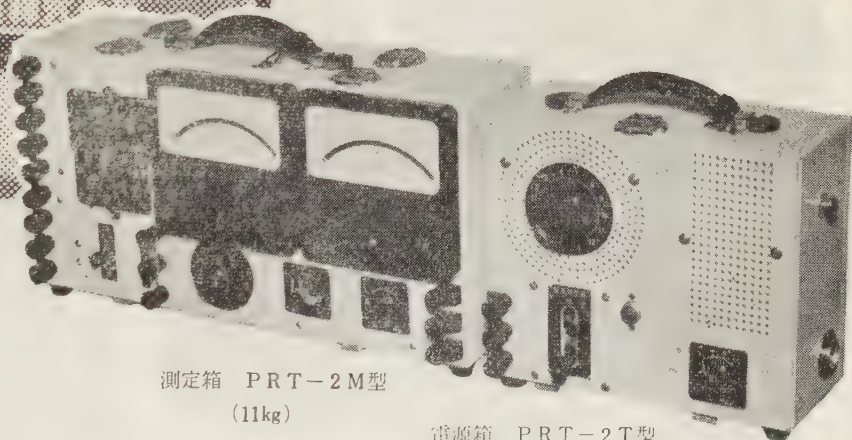
確実なテストを簡単に!

日新



ポータブルタイプ

継電器試験器



測定箱 PRT-2M型
(11kg)

電源箱 PRT-2T型
(10kg)

発・変電所の定期試験や、各種保護継電器の特性試験をA・C・110Vの電源さえあれば、正確な試験を本器によって簡単かつ迅速に行うことができます。

本器は電源箱と測定箱からなり、いずれも携帯に便利のように軽量かつ堅牢なケースに収められています。電源箱には変圧器と調整用スライダックを備え110Vの電源により、電流は0～50A迄、電圧は0～250V迄を出すことができます。

変圧器は単巻変圧器を用い、できるだけ軽量でしかもその二次側の波形が継電器の特性に悪影響をおよぼさぬよう特に留意されております。

測定箱には試験に必要な電流計、電圧計、サイクルカウンタのほか、補助継電器などを備えています。



日新電機株式会社

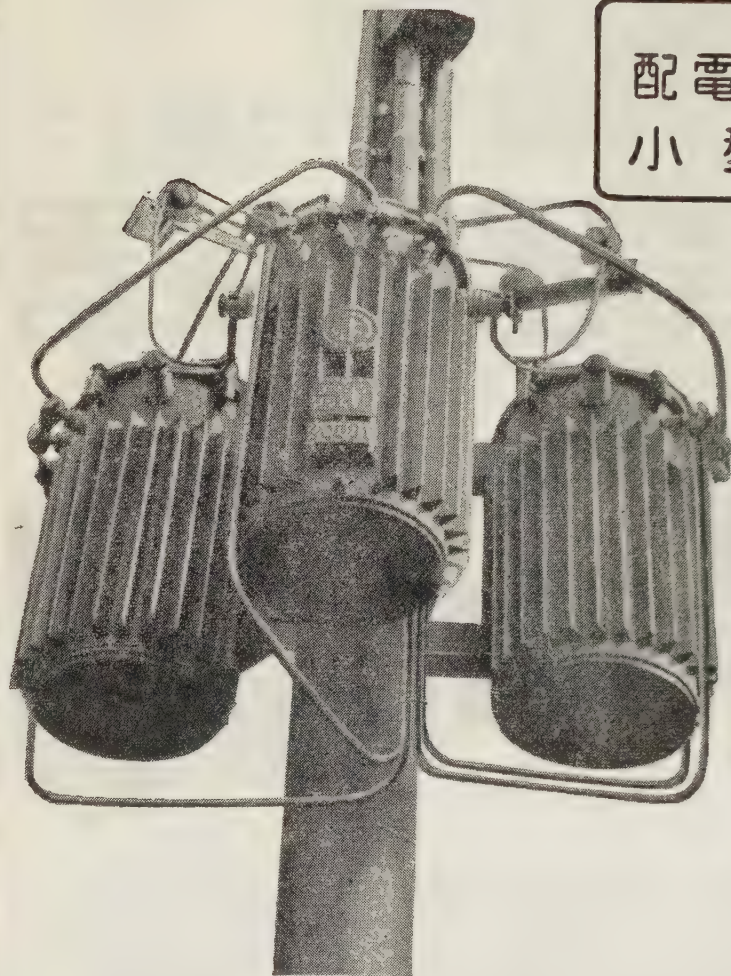
本社・工場 京都市右京区梅津高畝町20番地 電話京都(86)1131(代)
東京支社 東京都千代田区内幸町2丁目1番地(大阪ビル1号館階) 電話東京(591)9211(代)
大阪支社 大阪市北区堂島浜通1丁目25番地(新大ビル7階) 電話大阪(36)7831(代)



巻鉄心型変圧器

— 特 長 —

配電口スの軽減
小型・軽量

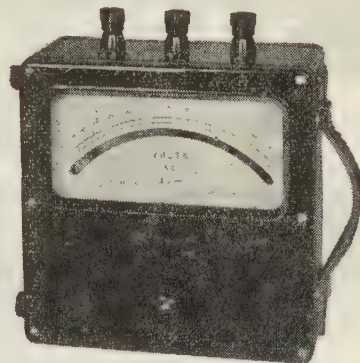


交・直流アーク溶接機
ユニオンメルト自動溶接機
ヘリアーク・シグマ溶接機
スタッド溶接機
自動治具溶接装置
及
軟鋼・合金鋼
ステンレス・鋼合金
軽金属溶接用各種ワイヤー
標準変圧器
大型変圧器
巻鉄心変圧器
ネオン変圧器
各種変圧器

大阪変圧器株式会社

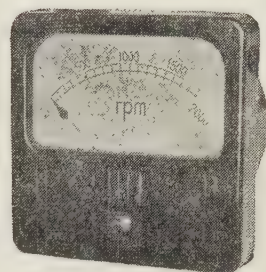
本 社 大阪市東淀川区元今里北通 3 の 14 電話(代表)大阪 ②7 3451・4951
東京事務所 東京都千代田区丸の内 2 の 2 (丸ビル) 電話東京 ② 821~3・4562~3
九州営業所 福岡市天神町 6 1 (渡辺ビル) 電話福岡 ④ 4735~6

品質を誇る 東洋の計器



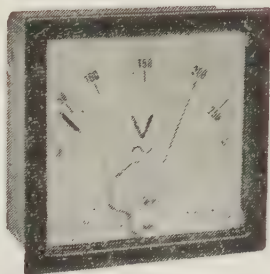
AP-5型

- ☆ 品質管理用に
- ☆ 配電盤の信頼性向上に
- ☆ 機器の品位向上に
- ☆ 生産の合理化に
- ☆ 保守の簡素化に

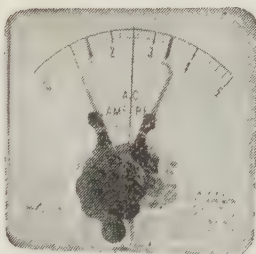


CRf-135型

(カタログ進呈)



ARK-100型



強圧式メーターリレー



VRf-110型

電気計器・工業計器・測定器・メーターリレー
電気式回転計・メガー・抵抗器・テスター



日本工業規格表示許可工場



東洋計器株式会社

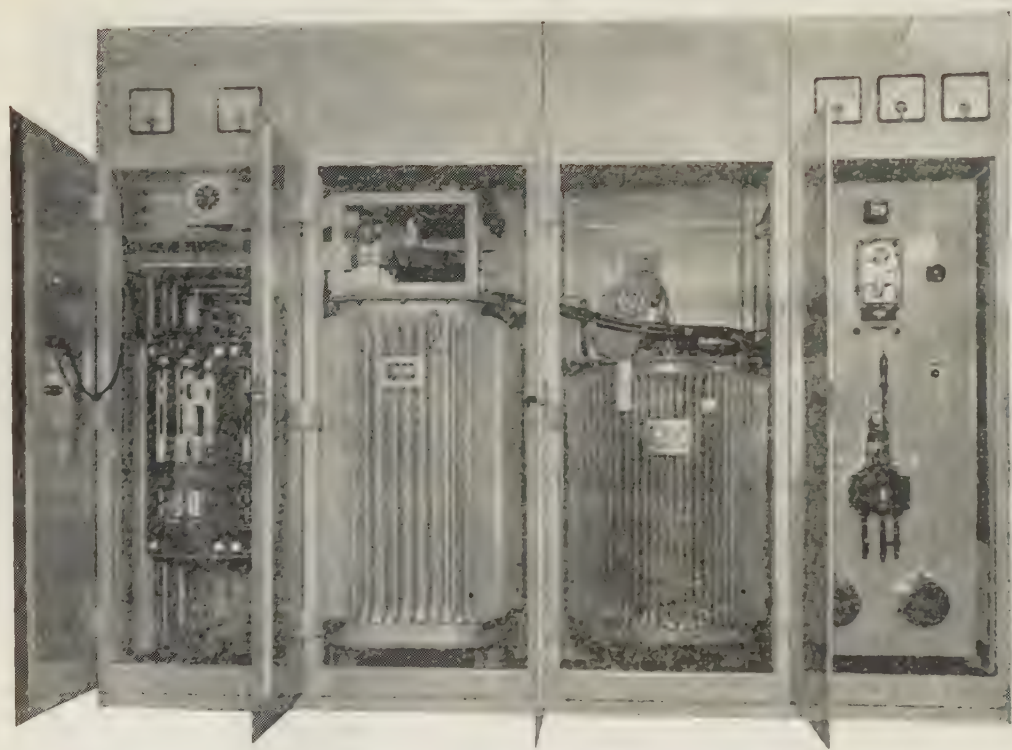
本社 大阪市南区南炭屋町11 電話 (75) 3576~7・2460
東京営業所 東京都渋谷区恵比寿通り2の13 電話 白金 (441) 3643

セレン整流器

Sansha

ゲルマニウム整流器

シリコン整流器

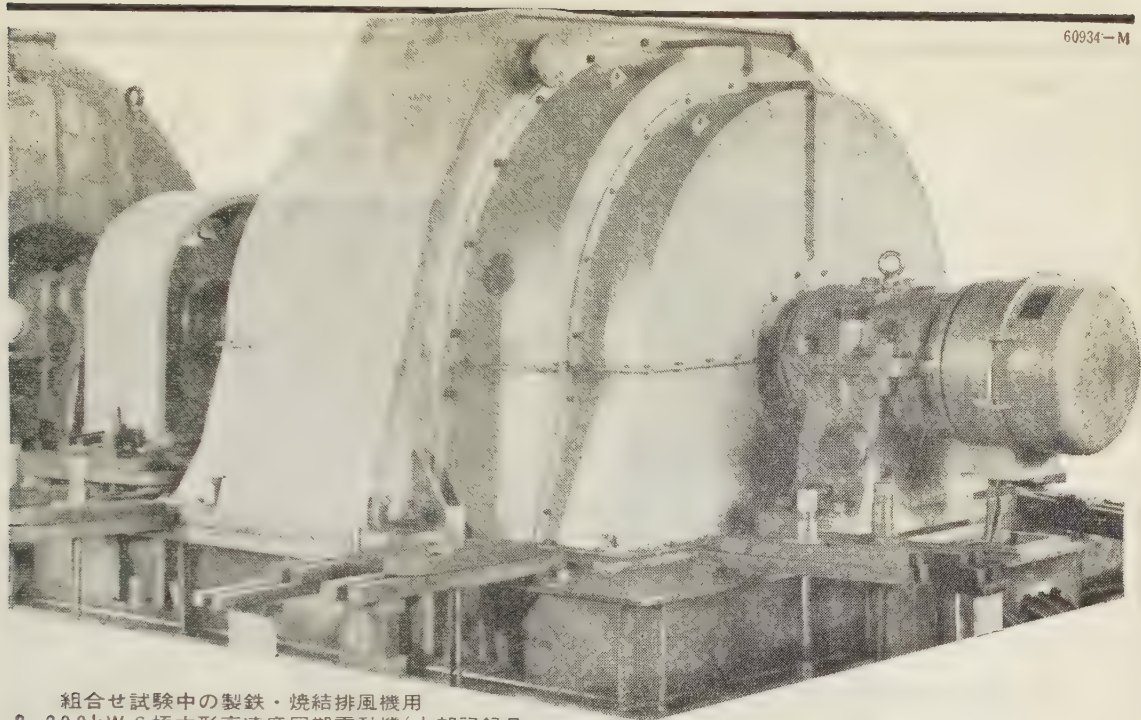


三社電機製作所



株式会社 三社電機製作所

本社・工場 大阪市東淀川区浜路本町1の150 電(37)6636-9
東京出張所 東京都港区芝琴平町30 電(501)9911-2



組合せ試験中の製鉄・焼結排風機用
3,200kW 6極大形高速度同期電動機(本邦記録品)

高速分野に進出する!

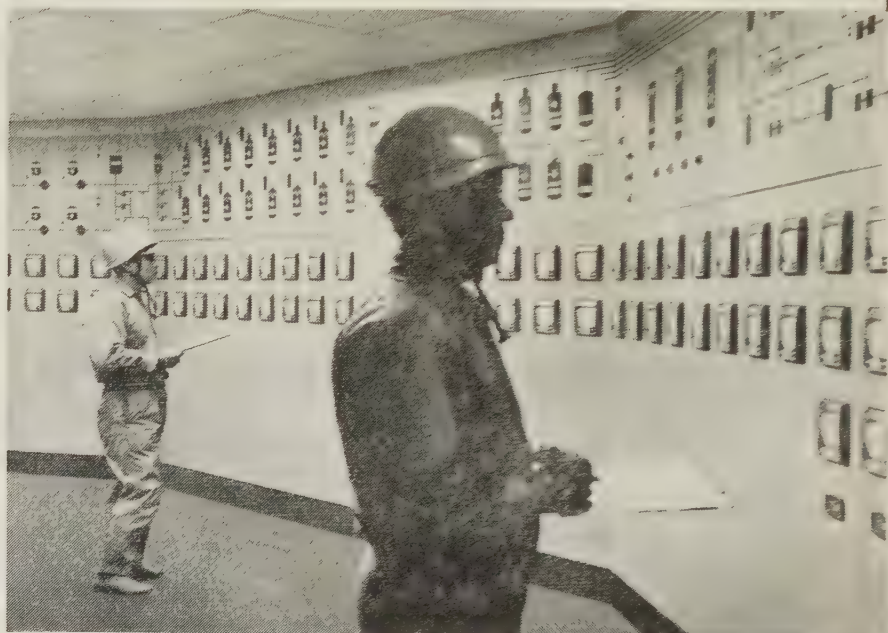
ターボプロア・ターボ圧縮機・ポンプなどの高速・大容量化に応じて、画期的構造をもったソリッドボール形同期電動機を開発し、同期機の応用分野をさらに広めました。

- ボール・シャフトに強度のすぐれた鍛鋼材を使用し、高速度にもとづく遠心力・振動などに対して、信頼度が高い。
- 起動巻線を省き、塊状磁極面のうず電流を有効に利用するので、起動巻線にもとづく故障がない。
- 絶縁にはとくに考慮を払っており、ガス・ダストが多い場所でも使用できる。振動に対しても機械的・電氣的に強度も増し、故障のおそれがない。

ソリッド ボール形
安川 同期電動機

株式会社 安川電機製作所 重電機営業本部 東京都千代田区大手町大手町ビル 電話 (201) 2511
本社 八幡市 工場 八幡市・行橋市 営業所 東京・大阪・名古屋・札幌・福岡・高松・富山・新潟・広島・仙台

日本産業と科学振興を支える・・・



電気計器

標準用・携帯用・配電盤用・パネル用計器および記録計器

電圧計、電流計、ワット計、電力計、電力因数計、サイクルカウンタ、音速計、圧力検出計、漏洩検出計、静電電圧計、計器用変換器、接地電圧計

測定器

検流計、漏洩電圧検出計、電圧ブレンダ、テスタ、絶縁抵抗測定器、接地抵抗測定器、標準LCR、交流ブレンダ、高圧用発振器・増幅器・調整器、レギュレータ、絶縁試験器、真空管試験器、Qメータ、電圧オシロスコープ、オシロスコープ、交流計算盤、全電圧計式、その他

工業計器

60年型電子自動平衡式計録計・全電子式記録調節計

熱電温度計、抵抗温度計、輻射温度計、流量計、液位計、pH計、酸素分析計、水質分析計、酸素計、湿度計、露点計、一気圧計、酸素計、酸素ロググラフ、Foxboro工業計器、その他

株式
会社

横河電機製作所

本社・工場 東京都武蔵野市吉祥寺3000番地 電話 東京3911局 代表1901
支店 名古屋・大阪・小倉 出張所 武蔵野局 022-21代表3701 新潟・広島

YEW

UDC 621.319.33.029.45.016.22

誘電形高周波発電機の出力の限度について*

資料・論文

35-82

正員 安 濃 恒 友†

1. ま え が き

誘電形**高周波発電機は高周波高電圧の場合、特に誘導性負荷に使用するときには、すぐれた特性を有するものであり、⁽¹⁾⁽²⁾これを電磁誘導形の発電機と比較するといろいろの長所がある。すなわち、

- (1) 構造が簡単で、堅牢、精密な工作が容易。
- (2) 電極寸法の自由度が大きく、高い周波数も発生できる。
- (3) 鉄損がなく、他の損失も少なくすることが容易。
- (4) 効率がよく、発熱についての考慮が軽減される。

しかし、その反面

- (a) 単位容積あたりの出力が少なくはないか。
- (b) 内部インピーダンスが高すぎないか。

などの疑念も抱かれているようである。(b)については定電流の特性として利用される場合もあり、電磁誘導形と反対に周波数が高くなるとともにインピーダンスは低下して適当な値となることもあり、必要によっては付加容量、変圧器などによって適当な値とすることもできるから、必ずしも短所とはならない。本論文においては、主として(a)を問題とし、出力を増大させるためには

- (i) 電極数および回転数を増し、 ω の大なるものとする。
- (ii) 電極間容量の変化分 C_1 を大きくする。
- (iii) 電極間の耐圧 e_{cm} を大きくする。
- (iv) 内部容量 C_0 と負荷インピーダンスとの関係を適当に保つ。

などの方法を構ずる必要があり、総括的には $[\omega C_1 \times e_{cm}^2]$ なる値を大きくすることによって、電磁誘導形にもまさるものとなしうことを明らかにした。本文中において、(i)については試作機械によって実用的

に製作しうる限度を確かめ、(iv)については理論的考察と試作機械の負荷試験の結果とがよく一致し、理論的に求めた条件をそのまま実用しうることを示した。また、別に論じたように、⁽³⁾⁽⁴⁾電極寸法比を適当に定めることによって(ii)を満足させることができ、(iii)については、高真空による方法、⁽⁵⁾SF₆、⁽⁶⁾その他の気体絶縁材料⁽⁷⁾を使用する方法などによって目的を達しうることを論じた。終りに、これらの結果を総合して実現される数値例をあげ、きわめて小形のものも製作できることや、誘導負荷と内部容量とを共限させて使用するとき、すぐれた性能を有することなどを数値的に明らかにした。

2. 誘電形高周波発電機の構造と特性

誘電形機器の形式、構造などは、種々の立場から分類されるが、その代表的なものとして、構造的には

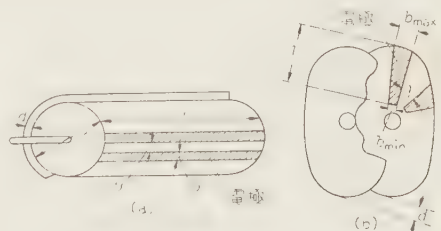
- (1) 同心円筒形〔第1図(a)〕
- (2) 円板対向形〔第1図(b)〕 $\left\{ \begin{array}{l} \text{単対} \\ \text{多対} \end{array} \right.$

電気回路的には

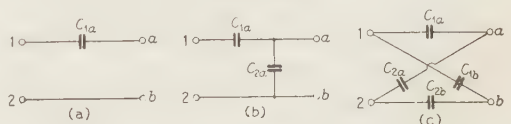
- (A) 単要素形〔第2図(a)〕
- (B) 二要素形またはL形〔第2図(b)〕
- (C) 四要素形または格子形〔第2図(c)〕

などとなる。(1)および(2)は原理的には異ならないものであるから、以下(1)を主として述べる。

まず(B)については、第3図のように入力側に直流電圧 e_i を加え、極数 N の回転子を n rpm にて回



第1図

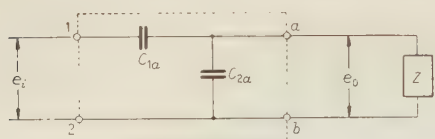


第2図

* Study on Maximum Output of Condenser Type High Frequency Generator. By T. ANNO, Member (Faculty of Engineering, Yamagata University).

† 山形大学工学部電気工学科、電気応用担当

**この形の高周波発電機を、静電形または電束形などと称したこともあったが、この方面の研究者の会合で話し合った結果、一応誘電形と称することに申し合わせたので、ここではこれにしたがうこととした。



第 3 図

転させ、 $C_{1a}=C_{01}+C_1 \cos \omega t$ 、 $C_{2a}=C_{02}-C_1 \cos \omega t$ 、 $C_0=C_{01}+C_{02}$ 、 $\omega=2\pi f=2\pi Nn/60$ とし、負荷が純抵抗 ($Z=R$) のときは、出力電圧 e_o は次式から求められる。

$$C_0 \frac{de_o}{dt} + \frac{1}{R} e_o = -\omega C_1 e_i \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (1)$$

(A) の場合は $C_{2a}=C_{02}$ となり、次式のように非線形の関係となる。

$$(C_{1a}+C_{2a}) \frac{de_o}{dt} + \left(\frac{1}{R} - \omega C_1 \sin \omega t \right) e_o = -\omega C_1 e_i \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (2)$$

しかし、一般に $C_0 > C_1$ で、また多くの場合 $R < 1/\omega C_1$ であるから、近似的には (1) 式によって特性を求めることができる。また、別に論じた⁽¹⁾⁽²⁾ ように、(C) についても (1) 式と全く同様の形の式で表わすことができる。

したがって、いずれの場合についても定常状態では、

$$e_o \approx -\frac{C_1 R e_i / C_0}{\sqrt{(1/\omega C_0)^2 + R^2}} \sin(\omega t - \phi) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{ただし } \phi = \tan^{-1} \omega R C_0$$

となる。同様に誘導負荷 (L - R 直列) の場合は、

$$e_o \approx \frac{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C_0)^2}} \cdot \frac{C_1}{C_0} e_i \times \cos(\omega t + \phi - \varphi) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし

$$\phi = \tan^{-1} \omega L / R, \quad \varphi = \tan^{-1} (\omega L - 1/\omega C_0) / R$$

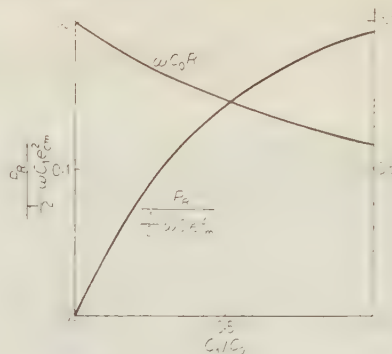
となる。他の種類の負荷についても (A) (B) (C) を一括して論ずることになるので、以下 (A) として (A) について述べることにする。

3. 出力についての理論的考察

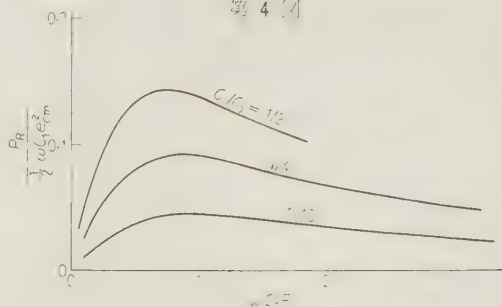
前章に述べた特性から、この発電機の出力を表わす式を求め、出力の限度について考察する。

(3.1) 抵抗負荷の場合

$$P_R = \frac{1}{2} \frac{(C_1/C_0)^2 R}{(1/\omega C_0)^2 + R^2} e_i^2$$



第 4 図



第 5 図

$$= \frac{1}{2R} \left[\frac{(C_1/C_0) \alpha e_{cm}}{1 + (C_1/C_0) \alpha} \right]^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

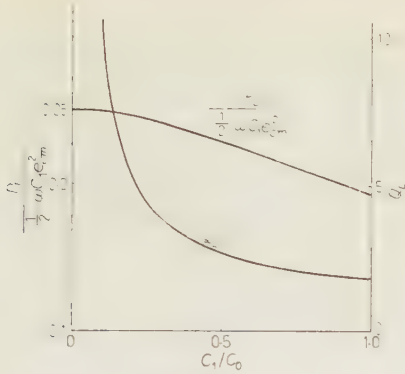
ここで $\alpha = R / \sqrt{(1/\omega C_0)^2 + R^2}$ とし、 e_{cm} は両電極(回転子と固定子)間に加わる電圧の最大値とする。(5) 式の関係から ωC_0 を一定として P_R をもっとも大きくするような $[R \times \omega C_0]$ の値、およびそのときの $P_R / [1/2 \cdot \omega C_1 e_{cm}^2]$ の値を C_1/C_0 の関数として図示すると、第 4 図のようになる。次に C_1/C_0 がそれぞれ 1/2, 1/4, 1/10 の場合に、 $[\omega C_0 R]$ の関数として $P_R / [1/2 \cdot \omega C_1 \times e_{cm}^2]$ の値を求めると、第 5 図のようになる。

(3.2) 誘導負荷の場合 $\omega^2 L C_0 = 1$ が成立する場合については

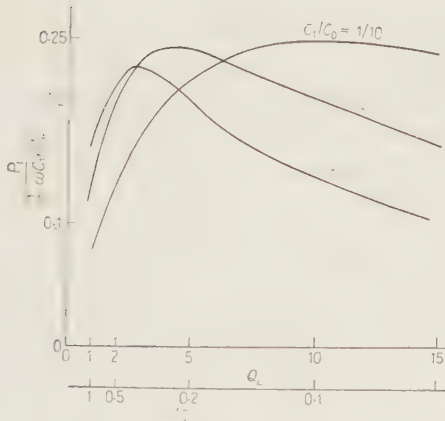
$$P_L = \frac{1}{2} \left(\frac{C_1}{C_0} \right)^2 \frac{e_i^2}{R} = \frac{1}{2} \omega C_1 e_{cm}^2 \frac{(C_1/C_0) Q_L}{[1 + (C_1/C_0) \sqrt{1 + Q_L^2}]^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで $Q_L = \omega L / R = 1/(\omega C_0 R)$

(6) 式から、 P_L を最大にする Q_L の値およびそのときの $[P_L / (1/2 \cdot \omega C_1 e_{cm}^2)]$ の値を、 C_1/C_0 の関数として求めた結果は第 6 図のごとくで、また前と同様に C_1/C_0 がそれぞれ 1/2, 1/4, 1/10 のとき、 Q_L の変化に伴ない $[P_L / (1/2 \cdot \omega C_1 e_{cm}^2)]$ の変化する状態を第 7



第 6 図



第 7 図

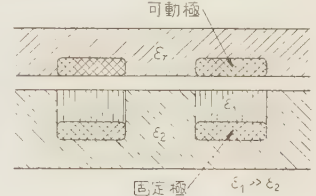
図に示す。

(3・3) 出力を大きくする方法とその限度 (3・1) 節および(3・2)節の結果から、出力を大きくするためには $(1/2 \cdot \omega C_1 e_{0m}^2)$ を大きくし、 $\omega C_0 R$ (または Q_L) を C_1/C_0 の値に応じて適当な大きさとする必要のあることが明らかとなる。 P_R および P_L の両者はほぼ同様に論ずることができるが、ここでは P_L について、次のような順序で考察する。

(a) e_{cm} を大きくする方法 両電極（回転子と固定子）の間には e_i と e_0 との和の電圧が加えられるから、 e_i が直流で、 e_0 の最大値が e_{0m} であるときは、 $e_{cm} = e_i + e_{0m}$ となる。出力に対してこの e_{cm} は 2 乗できてくるから、大きな e_{cm} に耐えうるような構造とすることはもっとも重大な問題となる。このためには、(i) 電極間を高真空とする方法⁽⁵⁾ (ii) 絶縁性のよい高圧ガスを封入する方法⁽⁶⁾⁽⁷⁾ のいずれかを採用するほうがよい。この点については、後記の(5・2)節および(6)章の数値例にて再述することとする。

(b) ωC_1 を大きくする方法 ω が指定されて

いる場合は、 C_1 を大きくするような構造とする必要があるが、 ω がある範囲内で選択しうる自由があるときには、 ωC_1 をまとめて考えたほうがよい。回転数または周辺速度が制限されているときに、一定の速さの回転子において、 ωC_1 (または C_1) を大きくするための電極寸法の決定方法については別に論じた⁽³⁾⁽⁴⁾ ので、ここではその結果を利用することにする。このように電極寸法を適当に定める方法のほかに、電極間に誘電率の大きい材料と絶縁耐力の高い材料を介させることもよい方法である。たとえば、チタン酸バリウム系の材料を電極にはりつける方法⁽²⁾⁽⁸⁾ もあるが、現在では加工の困難なこと、 C_1 を大きくするためには構造が複雑になること、 e_{cm} が結局はギャップの条件によって



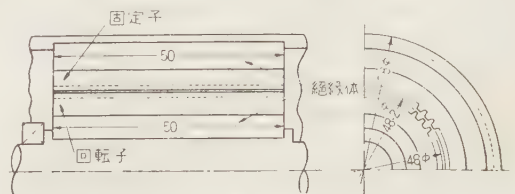
第 8 図

制限されることなどの諸点に問題がある。将来これらの問題点が解決されるようになれば、このような材料を利用して、第8図のような構造とすることも考えられ、この図中で ϵ_1 および ϵ_2 で示した両材料の形を調節することによって、 C_1 を大きくすることはもちろん C_{1a} , C_{2a} などの変化の状態を望ましい形とすることも可能である。

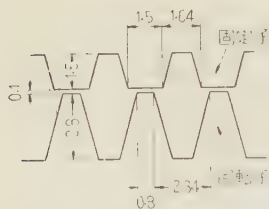
(c) その他の方法 $R(\omega C_0 R$ または $Q_L)$ が変化するとともに、 P_R または P_L は第5図、第7図のように変わるが、負荷の状態が変化しても、 P を最大値付近に保つ方法としては、与えられた条件（たとえば ω , R , C_0 , L などのうちいずれが指定されるか、または自由に選ぶうのかなど）の下において、自由に選ぶうの要素を他の要素の変動に伴って自動的に制御することも考えられる。

4. 試作機械の構造と特性

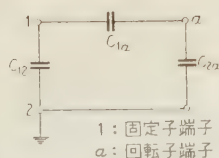
(3・3) 節までの所論を確かめ、その実用化についての見通しをうるために、第9図のような同心円筒、単要素形の機械を試作し、その特性を調べた。固定子および



第 9 図

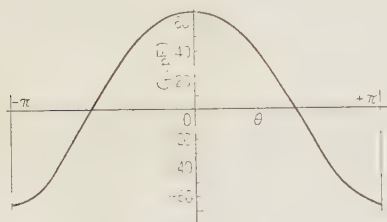


第 10 図



第 11 図

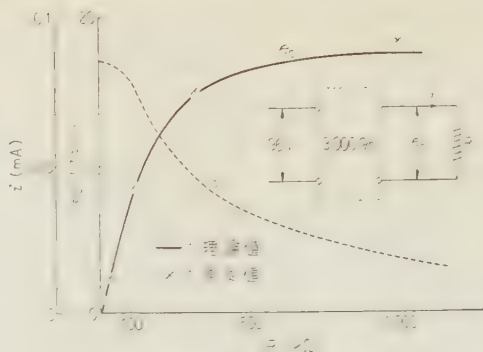
回転子の表面には、それぞれ第 10 図にその一部を示したような歯状の極を有し、極数はいずれも 48 である。両電極は絶縁体 ($\epsilon \approx 3$) をはさみ、外側ケースおよび軸に固定し、回転子側からはスリッピング、ブラシを経て出力側に接続されている。これは他の目的にも使用されるように、両電極よりのリード線をシールドしてあるので、対地容量はかなり大きく、これを含めて第 11 図の状態では C_{1a} を測定した結果は、 $C_{1a} = C_0 + C_1 \cos \theta = 170 + 66 \cos \theta$ (pF) であり、 C_{12} および C_{2a} は回転角度にかかわらずほぼ一定で、それぞれ 47 pF, 55 pF である。 C_{1a} の変化波形は第 12 図のようになり、各極ごとにこれをくり返すものである。この波形の高調波分には、第 2 (約 8%) および第 4 (約 1%) が認められるが、他の高調波分はきわめて少ない。



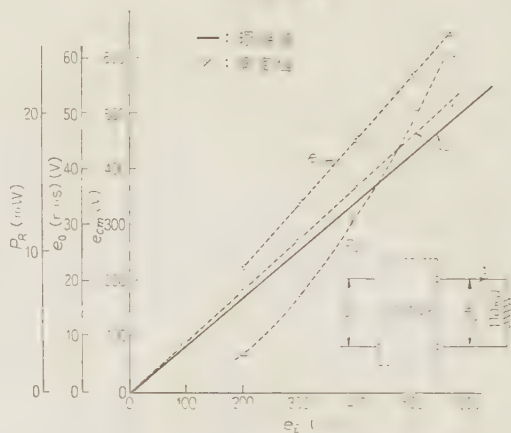
第 12 図

(4・1) 抵抗負荷特性 第 13 図および第 14 図の場合について、測定した結果と理論式から計算した値とを比較すると、それぞれの図に示したようによく一致する。この計算にあたり C_0 は配線などの容量を含めて、260 pF としたものである。 e_{cm} は約 700 V までの範囲で実験し、この e_{cm} の値および P_R の値をも、第 14 図の中に示した。この値から $P_R / [1/2 \cdot \omega C_1 \times e_{cm}^2]$ を求め、第 5 図中の $C_1/C_0 \approx 1/4$, $\omega C_0 R \approx 1/2$ の点と比較すると、ほぼ一致していることがわかる。 $\omega C_0 R$ の値を変えた場合も同様である。

(4・2) 誘導負荷特性 $L = 5$ H のフェライトコア入りのコイルを用いて、これと抵抗とを直列にした負荷について、第 15 図の接続とし、発電機の回転を調節して常に L と C_0 との共振状態に保ち、 R を



第 13 図



第 14 図



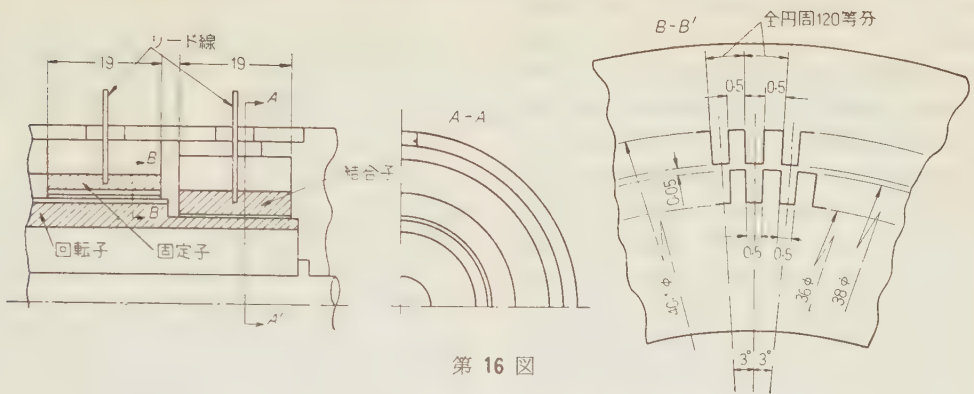
第 15 図

10~100 kΩ の範囲で変えたときの出力 P_L などを測定した。この場合も e_{cm} はほぼ上記の制限値内にとまらるようにして求めた結果は、第 1 表に示すように、

第 1 表 誘導負荷特性

R (kΩ)	Q_L	e_1 (V)	i (mA)	e_{cm} (V)	P_L (mW)	K
11	12.7	150	2.66	680	78	0.18
20		150	1.64	480	54	0.25
		200	2.23	650	100	0.25
		250	2.59	770	134	0.24
85	1.65	400	0.84	590	60	0.18
		500	1.04	740	92	"
		540	1.10	790	104	"

〔備考〕 $\omega^2 L C_0 = 1$, $R = R_L + R_S$, $K = P_L / [1/2 \cdot \omega C_1 e_{cm}^2]$



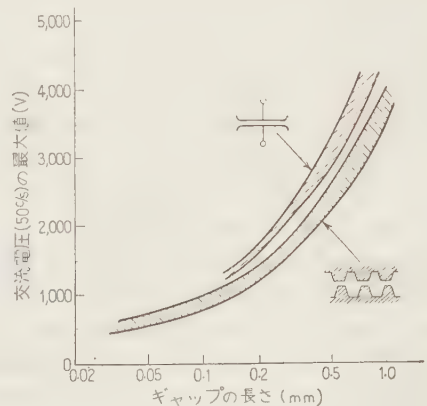
第 16 図

$P_L/[1/2 \cdot \omega C_1 e_{cm}^2]$ の値は第 7 図の $C_1/C_0 \approx 1/4$ の曲線とよく一致するなど、理論的考察をよく裏書きしている。また C_1/C_0 の値の異なる場合についても検討するために、前記の C_0 に並列に外部容量を付加して、 C_0 をことさらに大きくした状態についても実験したが、このときも第 3 章の考察と一致することを確かめることができた。

5. 実用化についての検討

(5.1) 電極寸法縮小の限度 同一の出力で機械の寸法をなるべく小さくするためには、(i) 両電極間のギャップ寸法 d を小さくする、(ii) 極の幅を小さくして同一直径の回転子についての極数を増す、(iii) 回転数を増す、などの方法がある。(i) については d を数ミクロン以下とすると、大気中でも電極間の耐圧は増しうるはずであるが、実用性と工作上の困難とを考えると、 d をある程度にとどめ、高真空または高圧ガス絶縁による方法が有利である。しかし $1/2 \cdot \omega C_1 e_{cm}^2$ を最大にするために d の寸法をいかに決定すべきかは、 d と e_{cm} との関係、 d と C_1 (または ωC_1) との関係などを明らかにした上で考察⁽³⁾⁽⁴⁾ されるべきである。いま特殊な工作によらず、経済的な面も考慮して、実際に製作しうべき d の縮小の限度を確かめるために、第 16 図に示すものを試作した。これは (ii) の条件の検討をも兼ねたものであるが、この製作の結果から d はほぼこの程度が限度であるが、極の幅はこの程度ではやまず、さらにこの $1/2$ 程度の寸法のものまで可能であるとの見通しをうることができた。(iii) については、精紡用電動機の例などから、20,000 rpm 程度までは困難ではないが、直径の大きいものでは、回転数よりはむしろ周辺速度による制限が問題になる場合が生ずる。しかし誘電形の場合は構造が簡単で、工作精度もよく、強度も大きいものとすることができ、この点は電磁誘導形に比較してきわめて有利となる。

(5.2) 電極間の耐圧を増す方法 (5.1) 節に述べたように、 d がある大きさのとき、 e_{cm} を増すためには高真空とすることが有利で、文献 (5) によれば $d \approx 0.2 \text{ mm}$ で約 50 kV に、 $d \approx 0.05 \text{ mm}$ で約 20 kV に耐えるといわれるが、発電機では不平等電界を生ずる点や、偏心、振動などによる有効ギャップの長さの減少を考える必要がある。この点を確かめるために、 d の $0.05 \sim 1.0 \text{ mm}$ の範囲で、平等電界のときおよび第 10 図のような歯形電極を用いたときの、大気中における絶縁耐力をくり返して測定した。この結果を第 17 図に示す。これと 4 章で示した今回の試作機械の大気中での実験結果では、 $d \approx 0.1 \text{ mm}$ について $e_{cm} \approx 700 \text{ V}$ 程度まで使用できた点とから、平等電界のときの 70~80% までは使用しうることが推定される。高真空の場合にも、この推論からそのまま適用できるとはいわれないので、次の数値例では安全を考え、平等電界のときの約 50% にとることとした。さらに高真空のときは冷却などの問題も生じ、一方 d の大きいときは耐圧が d に比例して増加しない点からも、むしろ高圧ガスを使用するほうが有利となる場合もある



第 17 図

ことは、これらについての測定結果⁽⁶⁾⁽⁷⁾からも明らかである。

(5・3) 実用化に際してのその他の問題 上記の諸点以外にも、高真空、高気圧、高電圧などに関し、構造的にも種々の考察が必要であるが、現在の技術の状態からみて、本質的に困難な問題はないであろう。

ここできわめて小形のものについて考えてみると、スリップリング、ブラシの摩耗による微粉の悪影響が特に d のきわめて小さいときには問題になる。これは、適当なスクリーンを設けて防ぐこともできるが、第 16 図中に示したように、スリップリング、ブラシを用いずに容量結合として出力を取り出す方式とすると、完全に解決することができる。このような結合のための容量 C_0 を用いるときは、等価的には C_1 が減少したことになる。この C_1 の減少は、容量の直列接続として計算することができるが、第 16 図の場合も C_0 を用いないときは $C_{1a}=170-50\cos\theta$ (pF) で、これを容量結合にすると $C_1=20$ pF となり、計算値とよく一致する。

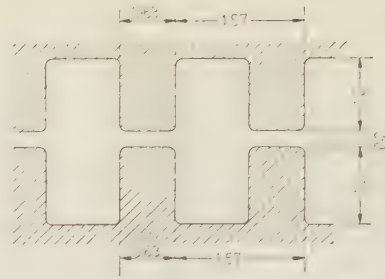
6. 出力の限度を示すための数値例

出力増大の限度といってももちろん一定のものではなく、設計、材料、製作技術などの進歩に伴ない、漸次発展するものであるが、前章までのことがらを考慮して、現在の状態にて実現することの可能な発電機の具体的な数値例を、発生電力に重点をおいて求め、第 2 表に示した。

第 2 表 数 値 例

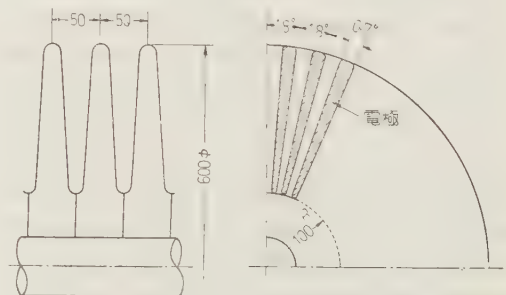
形	I 同 心 円筒形	II 同 心 円筒形	III 同 心 円筒形	IV 円 板 対向形
回転子外径 (mm)	48	19	500	600
回転子長 (mm)	50	20	"	1,000
ギャップ (d) (mm)	0.1	0.1	0.2	4
極 数	48	60	1,000	200
回 転 数 (rpm)	12,000	20,000	6,000	3,600
周 波 数 (kc)	9.6	20	100	12
電極間絶縁	高真空	"	"	SF ₆
電極間最大電圧 (e_{cm}) (kV)	15	15	25	150
$1/3 \cdot \omega C_1 e_{cm}^2$	448 W	141 W	510 kW	450 kW
最大出力 (抵抗負荷)	41.2 W	13 W	47 kW	48 kW
最大出力 (誘導負荷)	109 W	34 W	124 kW	115 kW

I は、第 9 図、第 10 図のものを高真空にて使用した場合を示し、II は小形の例として、第 16 図と同一の電極寸法で、さらにこれより全体の寸法を小さくした場合である。もし出力の引出部分を C_0 結合にすると、前述のように C_0 の大きさに応じて C_1 は減少し、これに比例して出力は減少する。一次側の電源は電圧は必要であるが、電力はほとんど不要である⁽²⁾か



第 18 図

ら、このような小形の発電機には、原子力電池（核電池）などを使用することも考えられる。次にやや大形の例として、III は第 18 図のような電極寸法で、工作精度の向上、軸受の選定など最良の条件のもとにこの程度の d となしうるものとした場合である。これらの条件が劣る場合は、他の寸法をそのままとして、 d のみを 0.5 mm とすると $e_{cm}=50$ kV, $1/2 \cdot \omega C_1 e_{cm}^2 = 352$ kW となり、出力はそれぞれ 30% ぐらい減少する。特に高電圧で、 d がさらに大きい場合や、駆動方法による制限のある場合などは、高真空よりは高圧ガスのほうが有利となってくる。また d が数ミリメートル以上になると、同心円筒形より構造は複雑であるが、同一容積について C_1 を大きくすることが容易で、円板対向形が有利になる。IV はこのような場合の例で、回転子は第 19 図にその概略を示したようなもので、固定子は 4 mm のギャップでこれに対向している。両電極とも、同一形状のものを軸方向に積重ねて構成するが、この例では長さ 1 m あたりの出力を求めた。さらに、この形は同一容積で多要素構造とすることも可能な点で、同心円筒形よりも有利である。以上の例のうち、I, II, III については $C_1/C_0=1/4$ とし、IV については 1.3 とし、出力を求めたが、 C_1 の値には外部に付加する容量も含まれ、広い範囲で変わりうるものであり、またこの値が変わっても、誘導負荷の最大出力はほとんど変わらないから、代表的な



第 19 図

値として、一応これらの値を用いたものである。

以上を総合して、この例のような周波数範囲では、電磁誘導形の発電機と比較して、まさるとも劣らない特性のものとなしうることがほぼ明らかになった。

7. む す び

誘電形の機械を高周波発電機として使用する場合に、その出力をどの程度まで増しうるかを容易に表しうる数式を理論的に求め、試作機械についてこれを確かめた。さらに現在の技術および材料の適用で、実現できる具体的な条件を検討し、これに基づいて出力の限度を示すための数値例をも求めた。この結果から、電磁誘導形とは反対に、周波数が高くなるにしたがって、誘導形発電機を駆動するのみの発電機の実用性はすでに充分であると認められ、実際の機械を試作する機会が与えられることを希望するともに、近來需用の増しつつある高周波発電機の新しい面を開くた

めの一助ともなれば、望外の幸と思ひ、ここに報告した次第である。

終りに、ご指導ごべんたつを賜わった東京工大栗屋教授ならびに本学電気工学科の教官職員各位に謝意を表し、試作機械の製作については東京工大精研石川研究室、渡辺測器、森幸製作所の各位に、誘導負荷用コイルについてはタムラ製作所中村氏のご尽力に感謝します。(昭和 35 年 1 月 4 日受付)

文 献

- (1) 安濃：山形大学紀要(工学) **1**, 5 (昭 25)
- (2) 安濃：山形大学紀要(工学) **2**, 67 (昭 27)
- (3) 安濃，他：昭 32 東北支部連大 25 B 10
- (4) 安濃，他：昭 33 連大 750
- (5) J. G. Trump: *Elect. Engng* **66**, 525 (1947)
- (6) P. R. Howard: *Proc. Instn. Elect. Engrs* **104**, Pt. A, 123 (1957)
- (7) F. L. Holloway & W. H. Mears: *Elect. Engng* **78**, 137 (1959)
- (8) 堀・矢角：電学誌 **77**, 542 (昭 32)

日 本 工 学 会 手 帳 予 約 申 込 案 内

例年の如く本年も昭和 36 年 (1961 年) 用日本工学会手帳、御好評により下記のとおり発行いたしますから、なにとぞ予約お申し込み下さい。

- | | |
|------------|---------------------|
| 1. 寸 法 | 15 cm × 9.5 cm |
| 2. 定 価 | 170 円 (送料とも 180 円) |
| 3. 予約申込期日 | 昭和 35 年 10 月末日まで |
| 4. 予約申込場所 | 日 本 工 学 会 |
| 5. 予約金支払期日 | 昭和 35 年 11 月 20 日まで |
| 6. 手帳発送期日 | 昭和 35 年 12 月 1 日より |

社団法人 日 本 工 学 会

東京都千代田区神田佐久間町 1 の 11 (造船協会内)
電話 (251) 4358 振替 東京 5055

UDC 621.313.33.013.62: 621.319.4

誘導機のコンデンサ自励現象*

資料・論文

35-83

正員 足立良夫†

1. ま え が き

原動機によって駆動される誘導機の固定子端子間に適当な容量のコンデンサを接続するとき、自励現象によって誘導機の端子電圧がある一定値まで漸次上昇してゆくことは周知のことである。^{(1)~(10)} この現象は自励式直流発電機の電圧確立作用と類似な現象として定性的に説明され、一般に納得されているものである。すなわち、誘導機は残留磁気によって微少な電圧を発生しているから、コンデンサを接続すればコンデンサに微弱な進み電流が流れ、それが誘導機の励磁電流（遅れ電流）となって磁束を増大させる。磁束が増大すれば発生電圧も増大し、したがってコンデンサ電流も増加する。このように、原因が結果を生み結果が原因となって誘導機の端子電圧が上昇してゆくことになる。そしてこの電圧は誘導機の磁化飽和曲線とコンデンサの特性曲線との交点で大体安定する。この場合、誘導機に残留磁気がなければ、自励式直流発電機の場合と同様に自励現象を喚起しないのである。

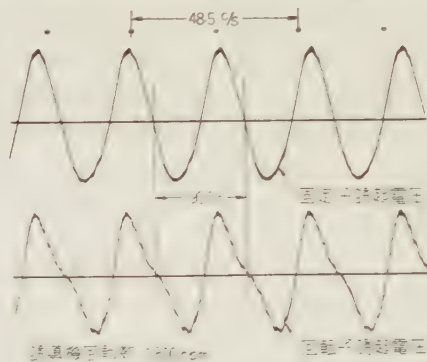
本論文はまず誘導機の残留磁気による電圧を調べ、ついで上述のコンデンサ自励現象を実験的ならびに解析的に究明しようとするものである。かくして、従来概念的にしか分明でなかった誘導機のコンデンサ自励現象を一層明確にし、この方面に関心を持たれる各位のご参考に供する次第である。

2. 残留磁気による誘起電圧

誘導機の残留磁気は磁気回路中の鉄心部に残存しているはずであるから、当然固定子および回転子鉄心のいずれにも保有されているべきである。それを確かめるために、回転子端子を開放した巻線形誘導電動機を原動機で駆動し、固定子および回転子巻線に誘起する電圧を調べることにした。供試誘導機は6極、50/60 c/s、1,000/1,200 rpm、200 V、7.5 kW の巻線形誘導電動機であって、固定子と回転子の巻線比は約 2.5 である。この誘導機の固定子および回転子巻線に誘起する電圧を真空管電圧計で測定した結果の一例は、第 1

第 1 表 残留磁気による誘起電圧の値

誘導機回転数 (rpm)	固定子誘起電圧 (V)			回転子誘起電圧 (V)		
	U-V 間	V-W 間	W-U 間	u-v 間	v-w 間	w-u 間
1,350	1.30	1.31	1.31	0.80	0.805	0.81
1,500	1.42	1.43	1.43	0.88	0.88	0.885
1,650	1.56	1.58	1.58	0.96	0.96	0.97
1,800	1.69	1.72	1.72	1.065	1.07	1.08



第 1 図 残留磁気電圧波形の一例

表のごとくである。

固定子および回転子の誘起電圧はいずれも誘導機の回転数に正比例しているから、これらの電圧はある一定の残留磁束によって誘起されるものである。この場合誘起電圧の周波数を確認するために、オシログラムに撮ったものの一例が第 1 図に示すものである。第 1 図で明らかなように、固定子および回転子の誘起電圧はいずれも同一周波数を有しており、その値は $f = pN/60$ (p : 極対数, N : 毎分回転数) であるから、残留磁気は 6 極の磁束として残存しているわけである。したがって回転子鉄心の有する 6 極の残留磁気によって固定子巻線に、固定子鉄心の有する 6 極の残留磁気によって回転子巻線にそれぞれ電圧を誘起するものと判断される。上例の場合固定子と回転子の巻数比が約 2.5 であり、固定子と回転子の誘起電圧の比が約 1.6 であるから、固定子鉄心の残留磁気は回転子のそれより大きい。しかし残留磁気の大小は前回の運転停止時の状況によって変化するもので、それぞれの場合に相異なる誘起電圧値となる。定格回転時に誘導機の残留磁気電圧は定格電圧の 0.5 ないし 1.0 % であるのが普通であるが、単相または三相短絡後にはこれよりはるか

* Self-Excitation of Induction Machines with Static Condensers.
By Y. ADACHI, Member (Fuji Electric Mfg. Co., Ltd.).

† 富士電機製造株式会社設計部

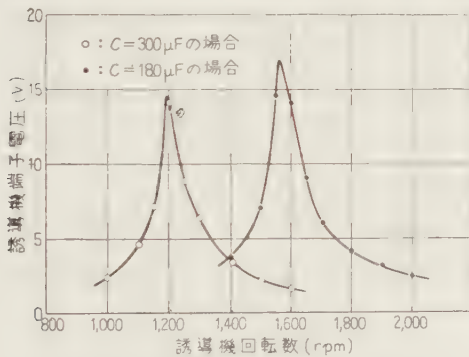
に小さい値となる。

以上の例は巻線形誘導機の場合であるが、かご形誘導機の場合も同様であって、固定子巻線に誘起する残留磁気電圧は、回転子鉄心の有する残留磁気によるものである。すなわち巻線形、かご形のいかに問わず、誘導機は回転子鉄心に残存する残留磁気により、永久磁石式同期発電機と同一原理で、固定子巻線に残留磁気電圧を誘起するのである。

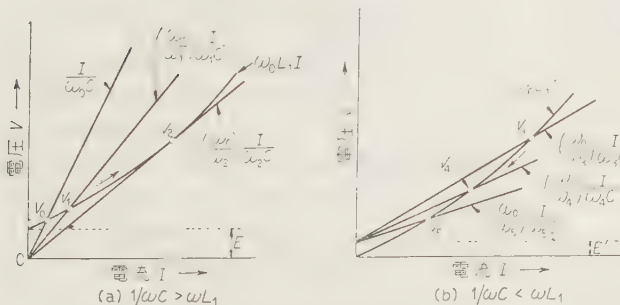
3. 回転子端子を開放した誘導機に コンデンサを接続した場合の 端子電圧変化

誘導機のコンデンサ自動現象を究明するために、まず巻線形誘導機の回転子端子を開放した状態で、固定子端子間にコンデンサを接続した場合を調べることにした。前述の 7.5 kW 巻線形誘導電動機の固定子端子間に 100 μ F または 60 μ F のコンデンサ 3 個を Δ 結線にして接続した場合、この誘導機の端子電圧と回転数との関係は第 2 図のごとくである。

誘導機の固定子端子間にコンデンサを接続した場合には、コンデンサ進み電流と誘導機の固定子全インピーダンスの積に相当する電圧だけ、誘導機の端子電圧



第 2 図 回転子端子を開放した場合の
端子電圧の変化曲線



第 3 図 各回転数における電圧-電流特性 (ω_0 に換算)

はコンデンサを接続しない場合より大きくなる。回転数を上昇させるとコンデンサのリアクタンスが減少して進み電流は増加し、また誘導機のインピーダンスも増加するから、誘導機の端子電圧が急激に上昇することになる。第 3 図 (a) において、回転数 n で端子電圧が V であるとき、回転数を上昇させて n' ($n' > n$) にすれば、端子電圧は $V'n'/n$ ($V' > V$) となる。回転数をさらに上昇させれば、コンデンサ特性曲線と誘導機磁気飽和曲線とが切線で交さすようになり、この回転数で端子電圧は最大値を示すことになる。回転数をこれ以上にするとコンデンサのリアクタンスが減少し、誘導機のリアクタンスが増加しようとするから平衡が破れ、残留磁気が減少して第 3 図 (b) のようになったとすれば、磁気飽和曲線が再びコンデンサ特性曲線と交さすから、端子電圧は $V'n''/n$ となる。この図に示すように、共振回転数以上では回転数を上昇させるにつれて端子電圧は漸次減少してゆくことになる。

端子電圧の上昇曲線は最初の残留磁気の大きさで一義的に定まるが、電圧下降曲線は必ずしも一定せず、共振回転数付近で回転数を急速に変化させると、端子電圧が消滅してしまうこともあった。誘導機電流 I_1 は概略 $I_1 + jE_1/(1/\omega C - \omega L_1)$ で表わされ、〔後述の (1) 式参照〕誘導機の回転速度が共振回転数より大きくなると、残留磁気電圧 E_1 に対し電流 I_1 の位相が反転して遅れ電流となる。共振回転数付近ではこの遅れ電流（減磁電流）の大きさが大きいので、残留磁気の減磁作用として働くことになる。残留磁気減少の割合は共振回転数通過時の回転数変化の幅や変化率などによって異なり、場合によっては全く消滅してしまうこともあるわけである。

以上の関係を解析的に表わすと次のごとくである。
いま

r_1 : 誘導機固定子の毎相抵抗 (Ω)

L_1 : 誘導機固定子の毎相全インダクタンス (H)

C : コンデンサの毎相静電容量 (F)

ω : 誘導機回転数に相当する電気的角速度 (rad/s)

$\sqrt{3}V_1$: 誘導機の固定子端子電圧 (V)

$\sqrt{3}E_1$: 誘導機の固定子残留磁気電圧 (V)

I_1 : 誘導機電流 (コンデンサ電流) (A)

とすれば、誘導機は平衡三相機であるから定常状態で次式が成立する。

$$\dot{V}_1 = \dot{E}_1 - (r_1 + j\omega L_1) \dot{I}_1 = -j\frac{1}{\omega C} \dot{I}_1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

すなわち

$$V_1 = \frac{E_1}{\omega C \sqrt{r_1^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L_1\right)^2}} \quad \dots\dots (2)$$

いま $(1/\omega C - \omega L_1) \gg r_1$ なる範囲のみ考えることにすれば、 r_1 を省略して下式が得られる。

$$V_1 = \frac{E_1}{\omega C \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L_1\right)} \quad \dots\dots\dots (2')$$

または

$$V_1 = \frac{E_1'}{\omega C \left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C}\right)} \quad \dots\dots\dots (2'')$$

(2') 式は電圧上昇時、(2'') 式は電圧下降時に対するものである。第2図に示す実測値において、各回転数に対する残留磁気電圧 $\sqrt{3}E_1$ は既知であるから、(2') 式を利用して $(\omega_0/\omega)\sqrt{3}V_1$ 対 $\omega_0 L_1$ の関係を求めると第4図のようになる。ここに ω_0 は 50 c/s に対する電氣的角速度である。たとえば第2図の $C=300\mu\text{F}$ に対して電圧上昇時の 50 c/s における残留磁気電圧は 1.0 V であったから

$$\sqrt{3}V_1 = \frac{10.6}{\frac{\omega_0}{\omega}10.6 - \omega L_1}$$

また電圧下降時の 50 c/s に対する残留磁気電圧が 0.33 V であったから

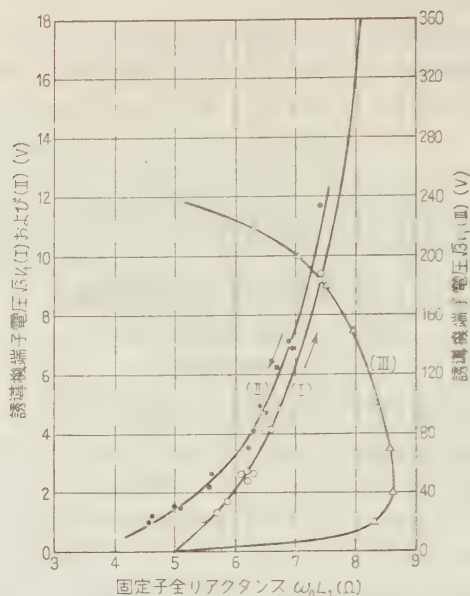
$$\sqrt{3}V_1 = \frac{0.33 \times 10.6}{\omega L_1 - \frac{\omega_0}{\omega}10.6}$$

が成立し、各回転数における V_1 と L_1 の関係が求められる。第4図には誘導電動機としての無負荷試験から求めた値 (III) も参考のために示してあるが、鉄心の磁気特性は一般に磁束密度の著しく低いところで悪くなる傾向にあるから、第4図のような曲線になることは充分納得されることである。第4図で電圧上昇時 (I) と下降時 (II) とで異なる2曲線となったのは、鉄心のヒステリシス現象を示すものである。

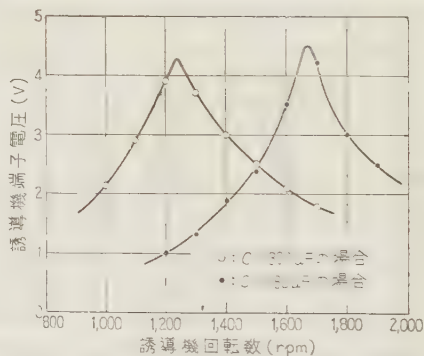
次に固定子回路の各相に外部抵抗 R_1 を直列にそう入すれば、定常状態において次式が成立する。

$$\dot{V}_1 = \dot{E}_1 - (r_1 + j\omega L_1) \dot{I}_1 = (R_1 - j\frac{1}{\omega C}) \dot{I}_1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

すなわち



第4図 誘導機端子電圧と固定子全リアクタンスとの関係



第5図 固定子側に外部抵抗 $R_1=2.0\Omega$ をそう入した場合の電圧変化曲線

$$V_1 = E_1 \sqrt{\frac{R_1^2 + (1/\omega C)^2}{(R_1 + r_1)^2 + (1/\omega C - \omega L_1)^2}} \quad \dots (4)$$

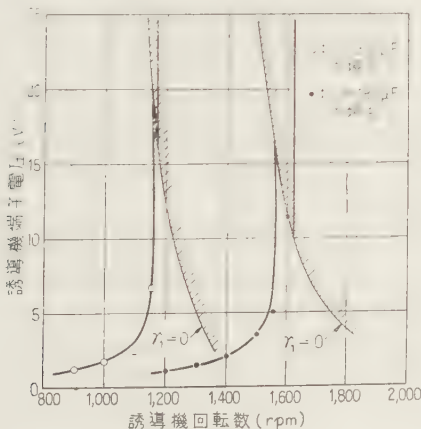
上述の 7.5 kW 誘導電動機の固定子回路に外部抵抗 $R_1=2.0\Omega$ をそう入した場合の実測値は第5図に示すごとくであり、これより求めた $(\omega_0/\omega)\sqrt{3}V_1$ 対 $\omega_0 L_1$ の関係も第4図の曲線 (I), (II) と一致した。共振回転数のところで外部抵抗なしの場合と同様に残留磁気減少し、それからは回転数の上昇とともに (4) 式を満足する安定状態を保ちつつ端子電圧が減少してゆくことになる。電圧下降曲線の範囲では、回転数の変化率が大きいと端子電圧は消滅してしまうこともあった。

電圧変化曲線における電圧最大値は、残留磁気電圧や固定子回路抵抗の大小に係る。また共振角速度 $\omega_e = 1/\sqrt{CL_1}$ は、コンデンサ容量の大小によって当然相違し、上述の場合には $300\mu\text{F}$ に対し約 $1,200\text{rpm}$ (60 c/s)、 $180\mu\text{F}$ に対し約 $1,520\text{ rpm}$ (76 c/s) となっている。固定子回路に外部抵抗をそう入した場合は、外部抵抗なしの場合より電圧変化曲線の電圧最大値が小さいから、第4図からわかるように L_1 の値も大きくなる。したがって同一コンデンサ容量に対する共振回転数も外部抵抗なしの場合よりも高くなっている。

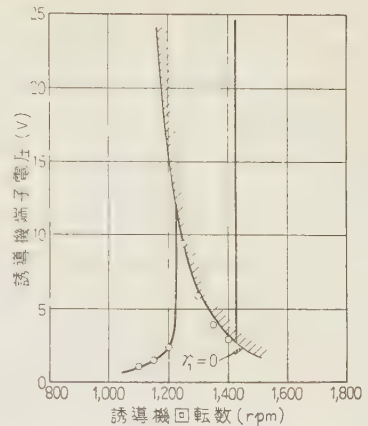
以上の電圧変化曲線は永久磁石式同期発電機にコンデンサを接続した場合に相当し、この場合、誘導機は同期機として動作していることを示すものである。

4. 回転子端子を短絡した誘導機に コンデンサを接続した場合の 端子電圧変化

前述の誘導電動機に対して、回転子端子を短絡した状態で固定子端子間にコンデンサを接続し、その回転数を変化させた場合の誘導機端子電圧の変化は第6図に示すごとくである。すなわち、回転数が比較的に低い間は電圧が回転数とともに上昇してゆき、回転子端子を開放したときとほとんど同様の電圧変化過程を示すが、共振回転数をやや越しかかったところで電圧が急激に上昇している。これは誘導機がコンデンサ自励現象により誘導発電機として動作し始めたことを示すものである。したがって、誘導機は自励条件を満足する回転数に達するまで永久磁石式同期発電機として運転しているが、自励条件を満足する回転数になると、



第 6 図 回転子端子を短絡した場合の
電圧変化曲線



第 7 図 回転子回路に $R_2=2.0\Omega$ の
外部抵抗をそう入した場合の電圧
変化曲線 ($C=300\mu\text{F}$ の場合)

突然誘導発電機に変化することになる。

固定子回路に直列外部抵抗をそう入した場合も第7図に示すように、外部抵抗なしの場合と大体同じような電圧変化過程を現わす。ただしこの場合は共振回転数と自励回転数との間に相当の差があり、外部抵抗のそう入により誘導発電機としてのすべりが大きくなったので、自励条件を満足する回転数が外部抵抗なしの場合より高くなったことを示している。以上の関係を簡便的に求めるために、次のように各記号を定めることにする。

r_1, r_2 : 誘導機固定子 および 回転子の毎相抵抗 (Ω)

L_1, L_2 : 固定子および回転子の毎相全インダクタンス (H)

M : 固定子と回転子間の毎相相互インダクタンス (H)

ω : 任意の回転子速度に対する回転子の電気的角速度 (rad/s)

C : コンデンサの毎相静電容量 (F)

$i_{1p}(t), i_{1n}(t)$: 固定子電流の正相分および逆相分 (A)

$i_{2p}(t), i_{2n}(t)$: 回転子電流の正相分および逆相分 (A)

t : 時間 (s)

p : d/dt に相当するオペレータ

ここに $i(t)$ としたのは、 i の大きさが時間 t とともに変化することを強調するためのものである。また回転子側の量はすべて固定子側に換算するものとすれば、次式が成立する。⁽¹¹⁾

$1/Cp+r_1+L_1p$		Mp	$i_{1p}(t)$	
	$1/Cp+r_1+L_1p$		$i_{1n}(t)$	
$M(p-j\omega)$		$r_2+L_2(p-j\omega)$	$i_{2p}(t)\varepsilon^{j\omega t}$	
	$M(p+j\omega)$		$i_{2n}(t)\varepsilon^{-j\omega t}$	

..... (5)

(5) 式において回転子側を消去すれば

$\frac{1}{Cp}+r_1+L_1p-\frac{M^2p(p-j\omega)}{r_2+L_2(p-j\omega)}$	$i_{1p}(t)$	
$\frac{1}{Cp}+r_1+L_1p-\frac{M^2p(p+j\omega)}{r_2+L_2(p+j\omega)}$	$i_{2p}(t)$	

..... (6)

上式において正相分が求められれば逆相分は視察によって得られるから、まず正相分のみ着目しよう。いま

$$\frac{1}{C\lambda}+r_1+L_1\lambda-\frac{M^2\lambda(\lambda-j\omega)}{r_2+L_2(\lambda-j\omega)}=0 \quad (7)$$

の根を λ_1, λ_2 とし、定数を κ_1, κ_2 とすれば $i_{1p}(t)$ の解は次式で表わされる。

$$i_{1p}(t)=i_{1p}+\kappa_1\varepsilon^{\lambda_1 t}+\kappa_2\varepsilon^{\lambda_2 t} \quad (8)$$

(8) 式右辺の第 1 項は定常電流である。

(7) 式を λ について整理すれば

$$\begin{aligned} \lambda^3\left[1-\frac{M^2}{L_1L_2}\right]+\lambda^2\left[\frac{r_1}{L_1}+\frac{r_2}{L_2}-j\omega\left(1-\frac{M^2}{L_1L_2}\right)\right] \\ +\frac{\lambda}{L_1}\left[\frac{1}{C}+\frac{r_1(r_2-j\omega L_2)}{L_2}\right]+\frac{r_2-j\omega L_2}{CL_1L_2}=0 \end{aligned} \quad (9)$$

いま $1-M^2/L_1L_2=\sigma$ とおけば

$$\begin{aligned} \left(\frac{\lambda}{\omega}\right)^3+\left(\frac{\lambda}{\omega}\right)^2\left[\frac{r_1}{\omega\sigma L_1}+\frac{r_2}{\omega\sigma L_2}-j\right] \\ +\left(\frac{\lambda}{\omega}\right)\frac{1}{\omega\sigma L_1}\left[\frac{1}{\omega C}+r_1\left(\frac{r_2}{\omega L_2}-j\right)\right] \\ +\frac{1}{\omega^2\sigma C L_1}\left[\frac{r_2}{\omega L_2}-j\right]=0 \end{aligned} \quad (10)$$

上式の近似解を求めるために解の一つを次のようにおけば

$$(\lambda/\omega)=j+\alpha \quad (11)$$

ただし $\alpha \ll 1$

(11) 式を (10) 式に代入し、 α の高次項を無視すれば α は次式のようになる。

$$\alpha=\frac{r_2}{\omega l}\frac{1-\frac{1}{\omega^2 CL_1}-j\frac{r_1}{\omega L_1}}{\frac{1}{\omega^2 Cl}+\frac{r_1 r_2}{\omega^2 L_1 l}-1+j\left(\frac{r_1+2r_2}{\omega l}\right)}=\gamma_1-j\beta_1 \quad (12)$$

ただし $l=\sigma L_1=\sigma L_2$ であって、全漏れインダクタンスを表わす。また

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \frac{r_2}{\omega l} \frac{\left[\frac{1}{\omega^2 Cl} + \frac{r_1 r_2}{\omega^2 L_1 l} - 1\right]}{\left[\frac{1}{\omega^2 Cl} + \frac{r_1 r_2}{\omega^2 L_1 l} - 1\right]^2} \\ &\quad \times \left[1 - \frac{1}{\omega^2 CL_1}\right] - \frac{r_1}{\omega L_1} \left(\frac{r_1+2r_2}{\omega l}\right) \\ &\quad + \left[\frac{r_1+2r_2}{\omega l}\right]^2 \\ \beta_1 &= \frac{r_2}{\omega l} \frac{\left(\frac{r_1+2r_2}{\omega l}\right)\left[1 - \frac{1}{\omega^2 CL_1}\right]}{\left[\frac{1}{\omega^2 Cl} + \frac{r_1 r_2}{\omega^2 L_1 l} - 1\right]^2} \\ &\quad + \frac{r_1}{\omega L_1} \frac{\left[\frac{1}{\omega^2 Cl} + \frac{r_1 r_2}{\omega^2 L_1 l} - 1\right]}{\left[\frac{r_1+2r_2}{\omega l}\right]^2} \end{aligned} \quad (13)$$

(10), (11) 式より λ の他の解は近似的に次式から求めればよいことになる。

$$\left(\frac{\lambda}{\omega}\right)^2 + \left(\frac{r_1+r_2}{\omega l}\right)\left(\frac{\lambda}{\omega}\right) + \frac{1}{\omega^2 Cl} + j\frac{r_2}{\omega l} = 0 \quad (14)$$

上式の根は二つあるが、一方は逆相分となるので捨てることにとすると次式の解が得られる。

$$\begin{aligned} \left(\frac{\lambda_2}{\omega}\right) &= -\frac{r_1+r_2}{2\omega l} + j\sqrt{\frac{1}{\omega^2 Cl} - \left(\frac{r_1+r_2}{2\omega l}\right)^2} + j\frac{r_2}{\omega l} \\ &= -\gamma_2 + j\beta_2 \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

ここに

$$\begin{aligned} \gamma_2 &= -\frac{r_1+r_2}{2\omega l} + \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\sqrt{\left[\frac{1}{\omega^2 Cl} - \left(\frac{r_1+r_2}{2\omega l}\right)^2\right]^2} + \left(\frac{r_2}{\omega l}\right)^2} \\ &\quad - \frac{1}{\omega^2 Cl} + \left(\frac{r_1+r_2}{2\omega l}\right)^2 \\ \beta_2 &= \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\sqrt{\left[\frac{1}{\omega^2 Cl} - \left(\frac{r_1+r_2}{2\omega l}\right)^2\right]^2} + \left(\frac{r_2}{\omega l}\right)^2} \\ &\quad - \frac{1}{\omega^2 Cl} - \left(\frac{r_1+r_2}{2\omega l}\right)^2 \dots\dots\dots 16 \end{aligned}$$

同様に逆相分電流 $i_{1n}(t)$ の解は次式で表わされる。

$$i_{1n}(t) = i_{1n} + \bar{\kappa}_3 e^{\lambda_3 t} + \bar{\kappa}_4 e^{\lambda_4 t} \dots\dots\dots (17)$$

ただし i_{1n} : 定常電流, $\bar{\kappa}_3, \bar{\kappa}_4$: 定数

$$\lambda_3/\omega = \gamma_1 - j(1 - \beta_1) \dots\dots\dots (18)$$

$$(\lambda_4/\omega) = -\gamma_2 - j\beta_2 \dots\dots\dots (19)$$

回転子電流の正相分と逆相分は次式のようになる。

$$\begin{aligned} i_{1p}(t) &= i_{1p} - \frac{(\lambda_1 - j\omega)M}{r_2 + (\lambda_1 - j\omega)L_2} \kappa_1 e^{(\lambda_1 - j\omega)t} \\ &\quad - \frac{(\lambda_2 - j\omega)M}{r_2 + (\lambda_2 - j\omega)L_2} \kappa_2 e^{(\lambda_2 - j\omega)t} \dots\dots\dots (20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_{2n}(t) &= i_{2n} - \frac{(\lambda_3 + j\omega)M}{r_2 + (\lambda_3 + j\omega)L_2} \kappa_3 e^{(\lambda_3 + j\omega)t} \\ &\quad - \frac{(\lambda_4 + j\omega)M}{r_2 + (\lambda_4 + j\omega)L_2} \kappa_4 e^{(\lambda_4 + j\omega)t} \dots\dots\dots 21 \end{aligned}$$

ここに i_{2p}, i_{2n} はそれぞれ定常電流を表わす。

κ_1 ないし κ_4 は初期条件によって定まるある定数であるから、(8) 式ないし (21) 式によってすべての解が得られたことになる。(8) 式右辺の第 1 項は同期機としての定常項、第 3 項は減衰項であるから、誘導機として動作するかどうかは第 2 項のみ吟味すればよい。すなわち、 $\gamma_1 > 0$ ならば第 2 項は増大することになるから誘導機端子電圧は上昇する。したがって

$$\begin{aligned} \left[\frac{1}{\omega^2 Cl} + \frac{r_1 r_2}{\omega^2 L_1 l} - 1\right] \left[1 - \frac{1}{\omega^2 C L_1}\right] \\ - \frac{r_1}{\omega L_1} \left[\frac{r_1 + 2r_2}{\omega l}\right] > 0 \dots\dots\dots (22) \end{aligned}$$

を満足するとき、(8) 式の第 2 項は発散する。誘導機端子電圧が上昇すれば L_1 も大きくなり γ_1 も増大し、端子電圧は急激に上昇することになる。しかし第 4 図に示すように、電圧が上昇するにしたがって L_1 も増大するが、最大値を過ぎてから再び減少し、 $\gamma_1 = 0$ を満足する L_1 の値まで電圧が上昇して安定することになる。このときの発生周波数は $\omega(1 - \beta_1)$ に相当するものであって、回転子角速度 ω よりすべり β_1 だけ少なく、誘導機は明らかに誘導発電機として動作することになる。

(22) 式を満足しないときには (8) 式右辺の第 2 項も減衰項となるから、 i_{1p} の実効値を I_{1p} 、残留磁気電圧の実効値を E_{1p} とすれば、結局

$$i_{1p} = \sqrt{2} I_{1p} e^{j\omega t} = \frac{\sqrt{2} E_{1p}}{r_1 - j(1/\omega C - \omega L_1)} e^{j\omega t} \dots\dots\dots (23)$$

でおちつき、誘導機は残留磁気による永久磁石式同期発電機として動作し、回転子端子を開放した場合と全く同一である。

固定子回路に外部抵抗 R_1 をそう入した場合の自励条件は、同様にして求めることができる。

$$\begin{aligned} \left[\frac{1}{\omega^2 Cl} + \frac{(r_1 + R_1)r_2}{\omega^2 L_1 l} - 1\right] \left[1 - \frac{1}{\omega^2 C L_1}\right] \\ - \frac{r_1 + R_1}{\omega L_1} \left[\frac{r_1 + R_1 + 2r_2}{\omega l}\right] > 0 \dots\dots (24) \end{aligned}$$

また、回転子回路に外部抵抗 R_2 をそう入した場合の自励条件は、次式のようになる。

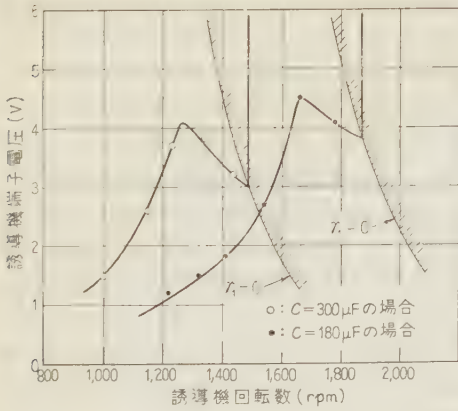
$$\begin{aligned} \left[\frac{1}{\omega^2 Cl} + \frac{r_1(r_2 + R_2)}{\omega^2 L_1 l} - 1\right] \left[1 - \frac{1}{\omega^2 C L_1}\right] \\ - \frac{r_1}{\omega L_1} \left[\frac{r_1 + 2(r_2 + R_2)}{\omega l}\right] > 0 \dots\dots (25) \end{aligned}$$

(22), (24), (25) 式を満足する自励角速度 ω_s は共振角速度 $\omega_0 = 1/\sqrt{CL_1}$ より明らかに大である。特に外部抵抗をそう入した場合にその差が大きくなる。固定子回路に外部抵抗をそう入した場合は、第 8 図に示したように端子電圧があまり高くないから、 L_1 が比較的小さく、(24) 式を満足する自励回転数は高くなる。

(22) 式を ωL_1 について整理すれば

$$\begin{aligned} (\omega L_1)^2 - \left\{1/\omega C + \frac{r_1(r_1 + r_2)}{1/\omega C - \omega l}\right\} \omega L_1 \\ - \frac{r_1 r_2}{\omega C(1/\omega C - \omega l)} > 0 \dots\dots\dots (22') \end{aligned}$$

したがって



第 8 図 固定子回路に外部抵抗 $R_1=2.0\Omega$ を
そう入した場合の電圧変化曲線

$$\omega L_1 > \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\omega C} + \frac{r_1(r_1+r_2)}{1/\omega C - \omega l} \right] + \sqrt{\left\{ \frac{1}{\omega C} + \frac{r_1(r_1+r_2)}{1/\omega C - \omega l} \right\}^2 + \frac{4r_1r_2}{\omega C(1/\omega C - \omega l)}} \quad \dots\dots\dots (22'')$$

上式において、一般 $1/\omega C$ に対して他の量は小さいので、適当に省略すれば (22'') 式は (26) 式のようになる。

$$\omega L_1 > 1/\omega C + \frac{r_1(r_1+2r_2)}{1/\omega C - \omega l} \quad \dots\dots\dots (26)$$

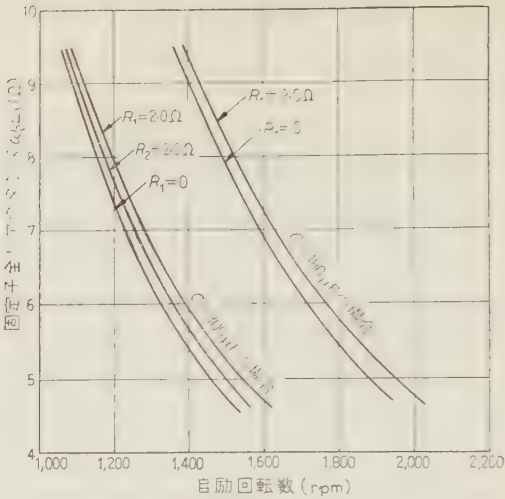
(24), (25) 式より同様にして、それぞれ下記の式が得られる。

$$\omega L_1 > 1/\omega C + \frac{(r_1+R_1)(r_1+R_1+2r_2)}{1/\omega C - \omega l} \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$\omega L_1 > 1/\omega C + \frac{r_1(r_1+2r_2+2R_2)}{1/\omega C - \omega l} \quad \dots\dots\dots (28)$$

前述の 7.5kW 誘導電動機に対し、300 μ F または 180 μ F のコンデンサを接続したときの自励回転数と誘導機固定子全インダクタンスとの関係は、(26) 式ないし (28) 式より求めることができる。第 9 図に示す曲線の右上部分が自励条件を満足する区域である。たとえば、 $C=300\mu\text{F}$ の場合 50 c/s (1,000 rpm) に対する $1/\omega_0 C=10.6\Omega$ 、 $\omega_0 l=0.604\Omega$ であり、 $r_1=0.10\Omega$ 、 $r_2=0.287\Omega$ であるから (26) 式より

$$\omega_l L_1 = 10.6 \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 + 0.0674 \left[\left(10.6 - 0.604 \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \right) \right]$$



第 9 図 自励回転数と固定子
全リアクタンスの関係

が得られ第 9 図の曲線が計算できる。この曲線上では $\gamma_1=0$ であるから、誘導発電機として自励しないのである。誘導機固定子全リアクタンス $\omega_0 L_1$ と端子電圧 $\sqrt{3} V_1$ との関係は第 4 図に示すごとくであるから、第 4 図の電圧下降曲線を利用して、おのおの場合の端子電圧と自励回転数を求め、第 6 図ないし第 8 図に示してある。これらの図で斜線のある区域が自励条件を満足する部分であり、細い曲線上では $\gamma_1=0$ で誘導発電機として動作しないのである。第 6 図ないし第 8 図の太い曲線は第 4 図を利用して計算した結果であり、実測値とよく一致している。第 6 図、第 7 図の電圧下降曲線は $\gamma_1>0$ の曲線とほとんど一致しているので準安定状態であり、回転数の変化率いかんによって $\gamma_1>0$ の区域にはいれば、直ちに自励現象を現わすものと考えられる。

第 6 図において、残留磁気小さいほど誘導機端子電圧の回転数による変化曲線が下方にくるので、同一コンデンサ容量に対して自励開始の回転数が高くなる傾向にあることがわかる。特に固定子端子間で短絡事故が発生した後のような場合には、残留磁気極端に小さくなるから自励回転数は非常に高くなる。逆にコンデンサ自励誘導発電機が、短絡事故発生後に自励しえなくなる現象も充分類推されることになる。このような場合には、回転時に固定子巻線に適当な交流電圧を印加するか、または静止時に直流電流を通電すれば、再び充分な残留磁気を帯びさせることができるから、自励することになる。

5. 巻線形誘導機の回転子端子間に コンデンサを接続した場合

巻線形誘導機の回転子端子間にコンデンサをそう入した場合も、固定子鉄心の残留磁気により回転子巻線に電圧を誘起し、固定子側にコンデンサをそう入した場合と同様な回転子端子電圧対回転数曲線を示し、固定子端子間を短絡してあるときには、ある回転数で急激に電圧が上昇して誘導発電機となった。その発生周波数は、若干のすべりを無視すれば回転子速度に対応するものである。これらの関係は固定子と回転子の対応性および相對運動の点から考えて当然のことからであらう。

6. 単相誘導機にコンデンサを 接続した場合

三相誘導機の固定子2端子間に適当な静電容量の単相コンデンサをそう入した場合には、誘導機は単相機として動作することになるが、この場合も三相機のと看同様な回転数対電圧特性を示し、ある回転数になると急激に端子電圧が上昇し、コンデンサ自励の単相誘導発電機となった。

7. む す び

誘導機の自励現象を明確にするために誘導機の残留磁気電圧を調べ、またコンデンサを接続した誘導機の端子電圧と回転数との関係を実験的に求め解析した結果、下記の点が明らかとなった。

(a) 誘導機の残留磁気は固定子および回転子鉄心にそれぞれ保有されており、その極数は誘導機の極数と同一である。

(b) 固定子巻線に誘起する残留磁気電圧は、回転子鉄心の有する残留磁束によるものである。

(c) コンデンサを接続した誘導機はまず永久磁石式同期発電機として動作し、自励条件を満足するとき自励誘導発電機に移行するのである。

(d) 自励条件は回路の抵抗分が小さいとき共振条

件 $\omega^2 CL_1 = 1$ にはほぼ一致するが、誘導機固定子全インダクタンス L_1 は磁気飽和特性にしたがって変わり、一定でないから、同一容量のコンデンサでも自励開始の回転数は残留磁気の大小などによって変わる。

(e) 鉄心の磁気特性は磁束密度の著しく低いとき悪くなるから、残留磁気が小さいほど L_1 の値も小さく自励が困難となる。特に短絡事故発生後のように残留磁気が著しく小さくなると自励しえなくなる。

(f) 固定子または回転子回路に外部抵抗をそう入した場合は自励が困難となる。特に固定子側の抵抗が大きいと、共振回転数でも端子電圧があまり上昇せず、 L_1 が小さいので一般に自励が非常に困難である。

(g) 巻線形誘導機の回転子側にコンデンサをそう入した場合も同様にコンデンサ自励現象を現わすが、これは固定子鉄心の有する残留磁気によるものである。

(h) 単相誘導機にコンデンサを接続した場合も三相誘導機と同様な現象を示すものである。

以上のように誘導機のコンデンサ自励現象の機構は大体判明しえたと思うが、引き続いて自励過渡現象について究明し発表する所存である。

終りに本論文に対しご指導をいただいた当社専務取締役大富博士ならびに実験に協力された当社研究部宮森課長その他の諸氏に謝意を表します。(昭和35年2月8日受付)

文 献

- (1) N. Landesberg: Elektrotech. u. Maschinenbau **45**, 847 (1927)
- (2) E. Unger: Arch. Elektrotech. **17**, 590 (1927)
- (3) E. D. Bassett & F. M. Potte: Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs **54**, 540 (1935)
- (4) C. F. Moncada: Arch. Elektrotech. **32**, 1 (1938)
- (5) C. F. Wagner: Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs **58**, 47 (1939)
- (6) H. Harz: Siemens-Z. **25**, 199 (1951)
- (7) B. Gerstmann: Elektrotech. u. Maschinenbau **69**, 505 (1952)
- (8) M. Nishimura: Technol. Rep. Osaka Univ. **2**, 157 (1952)
- (9) 上之園・上之園: 電研所報 **6**, No. 1, 19 (昭31)
- (10) H. Rechberger: Elektrotech. u. Maschinenbau **74**, 379 (1957)
- (11) 竹内: マトリクスによる電機解析法, 下1 (昭34), その他

UDC 621.313.333.625.1:621.3.012

単相誘導電動機の等価回路と図式特性算定法*

資料・論文

35-84

正員 林 清 嗣†

1. 緒 言

補助巻線のない単相誘導電動機の等価回路としては、単相誘導電動機が2電動機からなっていると考える、第1図のように表わされることは周知のことである。(1)(2) 固定子の巻線軸が非対称になっている二相誘導電動機または三相誘導電動機において、単相誘導電動機が2個または3個あつたものであると考えると、それらの電動機の特性を求めることができる。(3)(4) として単相誘導電動機の等価回路中の定数として、単相固定子巻線を各相巻線とする対称二相誘導電動機または対称三相誘導電動機の定数を使用するときわめてつづろがよい。そこで2電動機説の定数と、上記の対称二相または対称三相誘導電動機としての定数との関係を回転磁界論を適用して求め、後者の定数を使用して単相誘導電動機の等価回路を表わした。

対称二相または対称三相誘導電動機の定数を使用した等価回路を利用して、単相誘導電動機の特性の図式算定法を導出した。その場合に単相固定子巻線を各相巻線とする対称二相または対称三相誘導電動機の円線図を必要とするが、これらの電動機を実際に製作しなくても、単相固定子巻線を使用して無負荷試験、拘束試験および固定子巻線の抵抗測定を行うだけで、これらの円線図を描きうることもわかった。そしてこれらの円線図をつかって図式的に求めた単相誘導電動機の特性が、実負荷試験により求めた特性値と比較的によく一致し、実用上これらの図式特性算定法が妥当であると考えうるようになった。

なお本論文においては、ギャップ磁束密度分布は正弦波分布をなし、磁気飽和は無視し、かつ回転子巻線は対称多相巻線であると仮定している。

2. 等 価 回 路

文献(1)(2)によれば、単相誘導電動機の等価回路として第1図を導出している。ただし固定子巻線抵抗を r_1 、固定子漏れリアクタンスを x_1 、固定子側に換算

された回転子抵抗を r_r' 、同回転子漏れリアクタンスを x_r' 、励磁抵抗を r_{00} 、励磁リアクタンスを x_{00} およびすべりを s とする。いま

$$\dot{Z}_1 = \frac{r_1}{2} + j\frac{x_1}{2} + \frac{1}{1/(r_{00} + jx_{00}) + 1/(r_r'/s + jx_r')} \quad \dots\dots\dots 1a,$$

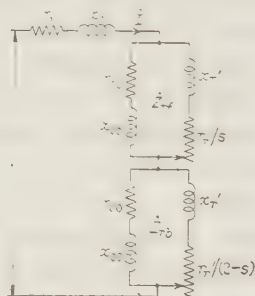
$$\dot{Z}_2 = \frac{r_1}{2} + j\frac{x_1}{2} + \frac{1}{1/(r_{00} + jx_{00}) + 1/\{r_r'/(2-s) + jx_r'\}} \quad \dots\dots\dots (1b)$$

とし、単相印加電圧を V 、固定子巻線電流を I とすれば

$$V = I(\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2) \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。そして固定子巻線に流れる電流 I により、回転子の回転方向と同方向に生ずる回転磁束によって回転子巻線に生ずる起電力を固定子側に換算したものは励磁インピーダンス

$r_{00} + jx_{00}$ と、固定子側に換算された回転子正相インピーダンス $r_r'/s + jx_r'$ との並列インピーダンス \dot{Z}_{rr} 中の電圧降下として消費されとみることができる。また回転子の回転方向



第1図

と逆方向の回転磁束

によって、回転子巻線に生ずる起電力を固定子側に換算したものは、励磁インピーダンス $r_{00} + jx_{00}$ と、固定子側に換算された回転子逆相インピーダンス $r_r'/(2-s) + jx_r'$ との並列インピーダンス \dot{Z}_{rb} 中の電圧降下として消費されとみることができる。また固定子巻線の電流 I によって生ずる漏れ磁束によって、その固定子巻線内に誘起する起電力は固定子リアクタンス x_1 中の電圧降下として消費されとみることができる。

単相誘導電動機のトルクは r_r'/s 中を流れる回転子正相電流による正相トルクと、 $r_r'/(2-s)$ 中を流れる

* The Equivalent Circuits and The Graphically Calculating Methods of Characteristics of Single Phase Induction Motor. By K. HAYASHI, Member (Nagoya Institute of Technology).

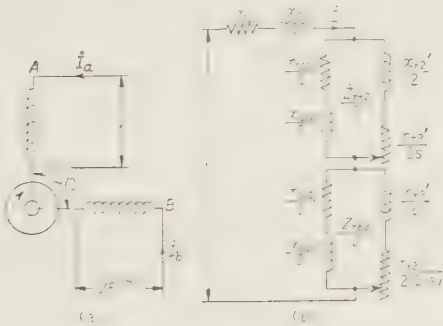
† 名古屋工業大学電気工学教室

回転子逆相電流による逆相トルクとの差で表わされる。

(2・1) 対称二相誘導電動機の定数を使用した等価回路 単相誘導電動機の固定子巻線を各相巻線とする、第2図(a)に示すような対称二相誘導電動機において、固定子巻線 A, B の作る交番磁束を、回転子巻線に鎖交して電磁エネルギーを固定子巻線から回転子に伝達する主磁束と、固定子巻線のみに鎖交する漏れ磁束とに分ける。この主磁束を回転子の回転方向と同方向および逆方向に回転する2種の回転磁束に分解する。回転子と同方向の回転磁束によって A, B 巻線に誘起する起電力をそれぞれ \dot{E}_{af} , \dot{E}_{bf} , \dot{E}_{af} , \dot{E}_{bf} とし、回転子と逆方向の回転磁束によって A, B 巻線に誘起する起電力をそれぞれ \dot{E}_{ab} , \dot{E}_{bb} , \dot{E}_{ab} , \dot{E}_{bb} とすれば、これらの起電力相互間に次の関係がある。

$$\dot{E}_{af} = \dot{E}_b \varepsilon^{j\pi/2}, \quad \dot{E}_{bf} = \dot{E}_a \varepsilon^{j\pi/2} \dots\dots\dots (3a, b)$$

$$\dot{E}_{ab} = \dot{E}_b \varepsilon^{-j\pi/2}, \quad \dot{E}_{bb} = \dot{E}_a \varepsilon^{-j\pi/2} \dots\dots\dots (3c, d)$$



第 2 図

\dot{E}_{af} , \dot{E}_{bf} は A, B 両巻線に固定子電流 I_a, I_b が流れて生ずる回転子と同方向の回転磁束によって、それぞれ自己の巻線に誘起する起電力である。また \dot{E}_{ab} , \dot{E}_{bb} は回転子と逆方向の回転磁束によって、それぞれ自己の巻線に誘起する起電力である。これらの起電力は次のような電圧降下として消費されたとみることができる。

$$\dot{E}_{af} = I_a \dot{Z}_{rf}, \quad \dot{E}_{bf} = I_b \dot{Z}_{rf} \dots\dots\dots (4a, b)$$

$$\dot{E}_{ab} = I_a \dot{Z}_{rb}, \quad \dot{E}_{bb} = I_b \dot{Z}_{rb} \dots\dots\dots (4c, d)$$

(3a)~(4d) 式から主磁束によって固定子両巻線に誘起する合成起電力を求めると

$$\begin{aligned} \dot{E}_{af} &= \dot{E}_a + \dot{E}_a + \dot{E}_a + \dot{E}_a \\ &= (I_a + I_b \varepsilon^{j\pi/2}) \dot{Z}_{rf} + (I_a + I_b \varepsilon^{-j\pi/2}) \dot{Z}_{rb} \end{aligned} \dots\dots\dots (5a)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_b &= \dot{E}_{af} + \dot{E}_{bf} + \dot{E}_{ab} + \dot{E}_{bb} \\ &= (I_a + I_b \varepsilon^{j\pi/2}) \dot{Z}_{rf} \varepsilon^{-j\pi/2} \\ &\quad + (I_a + I_b \varepsilon^{-j\pi/2}) \dot{Z}_{rb} \varepsilon^{j\pi/2} \dots\dots\dots (5b) \end{aligned}$$

次に固定子両巻線の作る漏れ磁束を2種の回転磁束に分解し、回転子の回転方向と同方向の回転磁束により A, B 巻線に誘起する起電力を \dot{E}'_{af} , \dot{E}'_{bf} , \dot{E}'_{af} , \dot{E}'_{bf} とし、回転子と逆方向の回転磁束により A, B 巻線に誘起する起電力を \dot{E}'_{ab} , \dot{E}'_{bb} , \dot{E}'_{ab} , \dot{E}'_{bb} とすれば、これら起電力相互間に次の関係がある。

$$\dot{E}'_{af} = \dot{E}'_b \varepsilon^{j\pi/2}, \quad \dot{E}'_{bf} = \dot{E}'_a \varepsilon^{j\pi/2} \dots\dots\dots (6a, b)$$

$$\dot{E}'_{ab} = \dot{E}'_b \varepsilon^{-j\pi/2}, \quad \dot{E}'_{bb} = \dot{E}'_a \varepsilon^{-j\pi/2} \dots\dots\dots (6c, d)$$

\dot{E}'_{af} , \dot{E}'_{bf} , \dot{E}'_{ab} , \dot{E}'_{bb} は、 A, B 両巻線に固定子電流 I_a または I_b が流れて生ずる漏れ磁束によって自己の巻線に誘起する起電力であり、かつ固定子巻線の自己リアクタンスは x_1 で表わされるから、これらの起電力はそれぞれ次のようにリアクタンス電圧降下で表わされる。

$$\dot{E}'_{af} = \dot{E}'_a = I_a x_1 / 2 \varepsilon^{j\pi/2} \dots\dots\dots (7a)$$

$$\dot{E}'_{bf} = \dot{E}'_b = I_b x_1 / 2 \varepsilon^{j\pi/2} \dots\dots\dots (7b)$$

(6a)~(7b) 式から漏れ磁束によって固定子両巻線に誘起する合成起電力を求めると、

$$\begin{aligned} \dot{E}'_{af} &= \dot{E}'_{af} + \dot{E}'_{bf} + \dot{E}'_{ab} + \dot{E}'_{bb} \\ &= (I_a + I_b \varepsilon^{j\pi/2}) x_1 / 2 \varepsilon^{j\pi/2} \\ &\quad + (I_a + I_b \varepsilon^{-j\pi/2}) x_1 / 2 \varepsilon^{j\pi/2} \dots\dots\dots (8a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}'_b &= (I_a + I_b \varepsilon^{j\pi/2}) x_1 / 2 \\ &\quad + (I_a + I_b \varepsilon^{-j\pi/2}) x_1 / 2 \dots\dots\dots (8b) \end{aligned}$$

固定子 A, B 両巻線に $V, V \varepsilon^{-j\pi/2}$ の電圧を印加した場合の電圧電流等式は次のようになる。

$$\begin{aligned} V &= \dot{E}_a + \dot{E}'_{af} + I_a r_1 \\ &= (I_a + I_b \varepsilon^{j\pi/2}) (\dot{Z}_{rf} + x_1 / 2 \varepsilon^{j\pi/2}) \\ &\quad + (I_a + I_b \varepsilon^{-j\pi/2}) (\dot{Z}_{rb} + x_1 / 2 \varepsilon^{j\pi/2}) \\ &\quad + I_a r_1 \dots\dots\dots (9a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V \varepsilon^{-j\pi/2} &= (I_a + I_b \varepsilon^{j\pi/2}) (\dot{Z}_{rf} + x_1 / 2 \varepsilon^{j\pi/2}) \varepsilon^{-j\pi/2} \\ &\quad + (I_a + I_b \varepsilon^{-j\pi/2}) (\dot{Z}_{rb} + x_1 / 2 \varepsilon^{j\pi/2}) \varepsilon^{j\pi/2} \\ &\quad + I_b r_1 \dots\dots\dots (9b) \end{aligned}$$

対称二相誘導電動機で $I_b = I_a \varepsilon^{-j\pi/2}$ の関係があるから、(9a) 式または (9b) 式から I_a を2電動機説の定数を使用して表わすと、

$$I_a = \frac{V}{r_1 + jx_1 + 2\dot{Z}_{rf}} = \frac{V}{2\dot{Z}_1} \dots\dots\dots (10)$$

一方、単相固定子巻線を各相巻線とした対称二相誘導電動機の各定数には添字 2 を付けて表わせば、 $r_{12}=r_1$, $x_{12}=x_1$ にして、固定子巻線電流は

$$I_a = \frac{V}{r_1 + jx_1 + Z_{rf2}} \quad (11a)$$

ただし

$$Z_{rf2} = 1 / \left(\frac{1}{r_{002} + jx_{002}} + \frac{1}{r_{r2}'/s + jx_{r2}'} \right) \quad (11b)$$

にして単相誘導電動機の集りと考えて導いた対称二相誘導電動機の固定子電流 (10) 式と、対称二相誘導電動機の定数を使って求めた固定子電流 (11a) 式とはすべりの全範囲にわたって等しい。したがって

$$Z_{rf2} = 2Z_{rf} \quad (12a)$$

$$r_{002} = 2r_{00}, \quad x_{002} = 2x_{00} \quad (12b, c)$$

$$r_{r2}' = 2r_r', \quad x_{r2}' = 2x_r' \quad (12d, e)$$

となる。単相固定子巻線を各相巻線とする対称二相誘導電動機のこれらの定数を使用して、単相誘導電動機の等価回路を求めれば第 2 図 (b) のようになる。いま

$$Z_{12} = r_{12} + jx_{12} + 1 / \left\{ \frac{1}{r_{002} + jx_{002}} + \frac{1}{r_{r2}'/s + jx_{r2}'} \right\} \quad (13a)$$

$$\dot{Z}_{22} = r_{12} + jx_{12} + 1 / \left\{ \frac{1}{r_{002} + jx_{002}} + \frac{1}{r_{r2}'/(2-s) + jx_{r2}'} \right\} \quad (13b)$$

とおけば、 \dot{Z}_{12} , \dot{Z}_{22} はこの対称二相誘導電動機の正相インピーダンス、逆相インピーダンスを表わしている。

単相誘導電動機の固定子電流は第 2 図 (b) の等価回路から次のように表わされる。

$$I = \frac{1}{\dot{Z}_{12}/2 + \dot{Z}_{22}/2} = 2 \frac{V}{\dot{Z}_{12}} \cdot \frac{V \cdot \dot{Z}_{22}}{V/\dot{Z}_{12} + V/\dot{Z}_{22}} \quad (14)$$

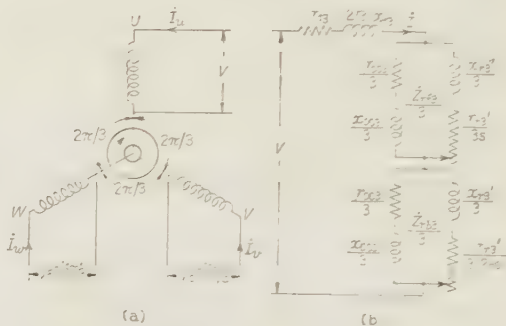
(2.2) 対称三相誘導電動機の定数を使用した等価回路 単相誘導電動機の固定子巻線を各相巻線とする第 3 図 (a) に示すような対称三相誘導電動機において、固定子巻線 U, V, W の作る交番磁束を主磁束と漏れ磁束とに分ける。主磁束をそれぞれ 2 種の回転磁束に分解し、この回転磁束によって U, V, W 巻線に誘起する起電力を、(2.1) 節の場合と同様に、第 1 図の回転子正相インピーダンス \dot{Z}_{rf} または回転子逆相インピーダンス \dot{Z}_{rb} 中の電圧降下とみなして、

U, V, W 巻線内の合成起電力を求めると次式で表わされる。

$$\begin{aligned} E_u &= I_u + I_v \varepsilon^{j2\pi/3} + I_w \varepsilon^{j4\pi/3} \cdot \dot{Z}_{rf} \\ &\quad + I_u + I_v \varepsilon^{-j2\pi/3} + I_w \varepsilon^{-j4\pi/3} \cdot \dot{Z}_{rb} \end{aligned} \quad (15a)$$

$$\begin{aligned} E_v &= (I_u + I_v \varepsilon^{j2\pi/3} + I_w \varepsilon^{j4\pi/3}) \dot{Z}_{rf} \varepsilon^{-j2\pi/3} \\ &\quad + (I_u + I_v \varepsilon^{-j2\pi/3} + I_w \varepsilon^{-j4\pi/3}) \dot{Z}_{rb} \varepsilon^{j2\pi/3} \end{aligned} \quad (15b)$$

$$\begin{aligned} E_w &= (I_u + I_v \varepsilon^{j2\pi/3} + I_w \varepsilon^{j4\pi/3}) \dot{Z}_{rf} \varepsilon^{-j4\pi/3} \\ &\quad + (I_u + I_v \varepsilon^{-j2\pi/3} + I_w \varepsilon^{-j4\pi/3}) \dot{Z}_{rb} \varepsilon^{j4\pi/3} \end{aligned} \quad (15c)$$



第 3 図

次に固定子各巻線の作る漏れ磁束をそれぞれ 2 種の回転磁束に分解し、各回転磁束によって U, V, W 巻線に誘起する起電力を、やはり (2.1) 節の場合と同様に固定子自己リアクタンス x_1 中の電圧降下とみなして、 U, V, W 巻線内の合成起電力を求めると次式で表わされる。

$$\begin{aligned} E_u' &= I_u + I_v \varepsilon^{j2\pi/3} + I_w \varepsilon^{j4\pi/3} \cdot x_1/2 \cdot \varepsilon^{j\pi/2} \\ &\quad + (I_u + I_v \varepsilon^{-j2\pi/3} + I_w \varepsilon^{-j4\pi/3}) x_1/2 \cdot \varepsilon^{j\pi/2} \end{aligned} \quad (16a)$$

$$\begin{aligned} E_v' &= (I_u + I_v \varepsilon^{j2\pi/3} + I_w \varepsilon^{j4\pi/3}) x_1/2 \cdot \varepsilon^{-j\pi/6} \\ &\quad + (I_u + I_v \varepsilon^{-j2\pi/3} + I_w \varepsilon^{-j4\pi/3}) x_1/2 \cdot \varepsilon^{j7\pi/6} \end{aligned} \quad (16b)$$

$$\begin{aligned} E_w' &= (I_u + I_v \varepsilon^{j2\pi/3} + I_w \varepsilon^{j4\pi/3}) x_1/2 \cdot \varepsilon^{j7\pi/6} \\ &\quad + (I_u + I_v \varepsilon^{-j2\pi/3} + I_w \varepsilon^{-j4\pi/3}) x_1/2 \cdot \varepsilon^{-j\pi/6} \end{aligned} \quad (16c)$$

固定子 3 巻線を星形に接続し、 U, V, W 巻線に $V \varepsilon^{-j2\pi/3}$, $V \varepsilon^{-j4\pi/3}$ なる相電圧を印加した場合の電圧電流等式は次のようになる。

$$\begin{aligned} V &= \dot{E}_u + \dot{E}_u' + I_u r_1 \\ &= (I_u + I_v \varepsilon^{j2\pi/3} + I_w \varepsilon^{j4\pi/3}) \\ &\quad \times (\dot{Z}_{rf} + x_1/2 \cdot \varepsilon^{j\pi/2}) \end{aligned}$$

$$+ (\dot{I}_u + \dot{I}_v \varepsilon^{-j2\pi/3} + \dot{I}_w \varepsilon^{-j4\pi/3}) \\ \times (Z_{rf} + x_1/2 \cdot \varepsilon^{j\pi/2}) + I_w r_1 \dots \dots \dots (17a)$$

$$V \varepsilon^{-j2\pi/3} = (\dot{I}_u + \dot{I}_v \varepsilon^{j2\pi/3} + \dot{I}_w \varepsilon^{j4\pi/3}) \\ \times (\dot{Z}_{rf} + x_1/2 \cdot \varepsilon^{j\pi/2}) \varepsilon^{-j2\pi/3} \\ + (\dot{I}_u - \dot{I}_v \varepsilon^{-j2\pi/3} + \dot{I}_w \varepsilon^{-j4\pi/3}) \\ \times (\dot{Z}_{rf} + x_1/2 \cdot \varepsilon^{j\pi/2}) \varepsilon^{j2\pi/3} + \dot{I}_w r_1 \\ \dots \dots \dots (17b)$$

$$V \varepsilon^{-j4\pi/3} = (\dot{I}_u + \dot{I}_v \varepsilon^{j2\pi/3} + \dot{I}_w \varepsilon^{j4\pi/3}) \\ \times (\dot{Z}_{rf} + x_1/2 \cdot \varepsilon^{j\pi/2}) \varepsilon^{-j4\pi/3} \\ + \dot{I}_u + \dot{I}_v \varepsilon^{-j2\pi/3} + \dot{I}_w \varepsilon^{-j4\pi/3}) \\ \times (\dot{Z}_{rf} + x_1/2 \cdot \varepsilon^{j\pi/2}) \varepsilon^{j4\pi/3} + \dot{I}_w r_1 \\ \dots \dots \dots (17c)$$

星形接続の対称三相誘導電動機で $\dot{I}_v = \dot{I}_u \varepsilon^{-j2\pi/3}$, $\dot{I}_w = \dot{I}_u \varepsilon^{-j4\pi/3}$ の関係があるから, (17a) 式から \dot{I}_u を 2 電動機説の定数を使用して表わすと

$$I_u = V / (r_1 + j3x_1/2 + 3Z_{rf}) \dots \dots \dots (18)$$

単相誘導電動機および固定子両巻線間の巻線間隔が $\pi/2$ である対称二相誘導電動機においては, 相互リアクタンスが存在しないから, 固定子リアクタンスは自己リアクタンスに等しい。しかし対称三相誘導電動機の固定子リアクタンスには相互リアクタンスが含まれていて, 自己リアクタンスに等しくなく, その 3/2 倍になっている。

一方, 単相誘導電動機の固定子巻線を各相巻線とする対称三相誘導電動機の各定数には, 添字 3 を付けて表わせば, その固定子巻線電流は

$$I_u = V / (r_{13} + jx_{13} + Z_{rf3}) \dots \dots \dots (19)$$

ただし

$$\dot{Z}_{rf3} = 1 / \left\{ \frac{1}{r_{003} + x_{003}} + \frac{1}{r_{r3}' / s + jx_{r3}'} \right\} \\ \dots \dots \dots (20a)$$

にして, 単相誘導電動機の集りと考えて導いた対称三相誘導電動機の固定子電流 (18) 式と, 対称三相誘導電動機の定数を使って求めた固定子電流 (19) 式とは, すべりの全範囲にわたって等しい。したがって

$$\dot{Z}_{rf3} = 3\dot{Z}_{rf} \dots \dots \dots (20b)$$

$$r_{13} = r_1, \quad x_{13} = 3/2 \cdot x_1 \dots \dots \dots (20c, d)$$

$$r_{003} = 3r_{00}, \quad x_{003} = 3x_{00} \dots \dots \dots (20e, f)$$

$$r_{r3}' = 3r_r', \quad x_{r3}' = 3x_r' \dots \dots \dots (20g, h)$$

となる。単相誘導電動機の固定子巻線を各相巻線とする対称三相誘導電動機のこれらの定数を使用して, 単相誘導電動機の等価回路を求めれば, 第 3 図 (b) のようになる。いま

$$\dot{Z}_{13} = r_{13} + jx_{13} + 1 / \left\{ \frac{1}{r_{003} + jx_{003}} + \frac{1}{r_{r3}' / s + jx_{r3}'} \right\} \\ \dots \dots \dots (21a)$$

$$\dot{Z}_{23} = r_{13} + jx_{13} \\ + 1 / \left\{ \frac{1}{r_{003} + jx_{003}} + \frac{1}{r_{r3}' / (2-s) + jx_{r3}'} \right\} \\ \dots \dots \dots (21b)$$

とおけば, \dot{Z}_{13} , \dot{Z}_{23} はこの対称三相誘導電動機の正相インピーダンス, 逆相インピーダンスを表わしている。

単相誘導電動機の固定子電流は第 3 図 (b) の等価回路から次のように表わされる。

$$I = \frac{V}{\dot{Z}_{13}/3 + \dot{Z}_{23}/3 + r_{13}/3} \\ = 3 \frac{V}{\dot{Z}_{13}} \cdot \frac{V/\dot{Z}_{23} \cdot V/r_{13}}{V/r_{13}(V/\dot{Z}_{13} + V/\dot{Z}_{23}) + V/\dot{Z}_{13} \cdot V/\dot{Z}_{23}} \\ \dots \dots \dots (22)$$

3. 対称多相誘導電動機の円線図

単相誘導電動機の固定子巻線を各相巻線とする対称二相または対称三相誘導電動機の円線図は, この単相固定子巻線のみを使って無負荷試験, 拘束試験および固定子巻線の抵抗測定を行って, その測定値から描くことができる。したがって, このような対称二相または対称三相誘導電動機を特別に製作しなくとも, それらの定数を求めることができる。

(3・1) 対称二相誘導電動機の円線図 (13a),

(13b) 式からわかるように, 対称二相誘導電動機の拘束時の正相インピーダンス \dot{Z}_{12} と逆相インピーダンス \dot{Z}_{22} は等しいから, 単相誘導電動機の拘束時の固定子電流は (14) 式から

$$(\dot{I})_{s=1} = 2 \left(\frac{V}{\dot{Z}_{12}} \right)_{s=1} \cdot \frac{(V/\dot{Z}_{22})_{s=1}}{(V/\dot{Z}_{12})_{s=1} + (V/\dot{Z}_{22})_{s=1}} \\ = (V/\dot{Z}_{12})_{s=1} \dots \dots \dots (23)$$

すなわち, 対称二相誘導電動機の拘束電流は単相固定子巻線のみを使って拘束試験を行えば求められる。

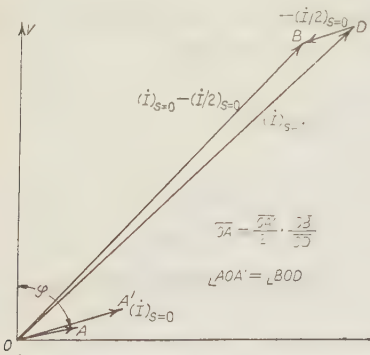
無負荷時すなわち $s=0$ においては (13a), (13b) 式から $(V/\dot{Z}_{22})_{s=0} = (V/\dot{Z}_{12})_{s=2}$ にして, かつ普通の場合 $(V/\dot{Z}_{12})_{s=2} \gg (V/\dot{Z}_{12})_{s=0}$ なる関係があるから, $(V/\dot{Z}_{12})_{s=2} = (V/\dot{Z}_{12})_{s=1}$ とおくことができる。したがって, 単相誘導電動機の無負荷時の固定子電流は (14) 式から次のように近似的に表わすことができる。

$$(\dot{I})_{s=0} = 2 \left(\frac{V}{\dot{Z}_{12}} \right)_{s=0} \cdot \frac{(V/\dot{Z}_{22})_{s=0}}{(V/\dot{Z}_{12})_{s=0} + (V/\dot{Z}_{22})_{s=0}}$$

$$\begin{aligned} &= 2 \left(\frac{V}{\bar{Z}_{12}} \right)_{s=0} \frac{(V/\bar{Z}_{12})_{s=2}}{(V/\bar{Z}_{12})_{s=0} + (V/\bar{Z}_{12})_{s=2}} \\ &\approx 2 \left(\frac{V}{\bar{Z}_{12}} \right)_{s=0} \frac{(V/\bar{Z}_{12})_{s=1}}{(V/\bar{Z}_{12})_{s=0} + (V/\bar{Z}_{12})_{s=1}} \dots\dots\dots (24 a) \end{aligned}$$

(23), (24 a) 式から対称二相誘導電動機の無負荷固定子電流は近似的に次式で表わすことができる。

$$\left(\frac{V}{\bar{Z}_{12}} \right)_{s=0} \approx \left(\frac{I}{2} \right)_{s=0} \cdot \frac{(I)_{s=1}}{(I)_{s=0} - (I/2)_{s=0}} \dots (24 b)$$



第 4 図

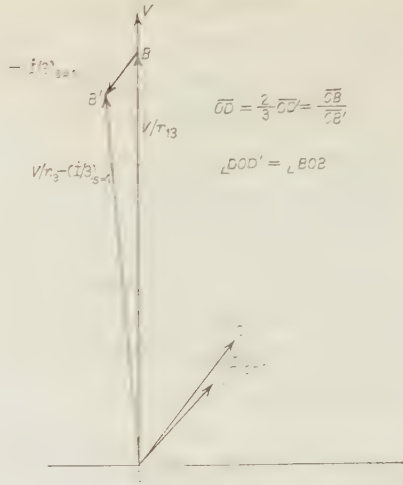
したがって、単相誘導電動機の無負荷試験、拘束試験を行って $(I)_{s=0} = \vec{OA}'$, $(I)_{s=1} = \vec{OD}$ が求まれば、第 4 図の作図により、この単相固定子巻線を各相巻線とする対称二相誘導電動機の無負荷電流 $(V/\bar{Z}_{12})_{s=0} = \vec{OA}$ および拘束電流 $(V/\bar{Z}_{12})_{s=1} = \vec{OB}$ が求まり、その電流円線図を描くことができる。また固定子巻線の抵抗がわかれば $s = \infty$ の点が求まり、正相トルク、逆相トルクも求められる。

(3・2) 対称三相誘導電動機の円線図 (21 a), (21 b) 式からわかるように、対称三相誘導電動機の拘束時の正相インピーダンス \bar{Z}_{13} と逆相インピーダンス \bar{Z}_{23} とは等しいから、単相誘導電動機の拘束時の固定子電流は (22) 式から

$$(I)_{s=1} = 3 \left(\frac{V}{\bar{Z}_{13}} \right)_{s=1} \cdot \frac{V/r_{13}}{2 V/r_{13} + (V/\bar{Z}_{13})_{s=1}} \dots\dots\dots (25 a)$$

$$\left(\frac{V}{\bar{Z}_{13}} \right)_{s=1} = \left(\frac{2}{3} I \right)_{s=1} \cdot \frac{V/r_{13}}{V/r_{13} - (I/3)_{s=1}} \dots\dots\dots (25 b)$$

したがって、単相誘導電動機の拘束試験を行い $(I)_{s=1} = \vec{OD}'$ を求め、固定子巻線抵抗を測定して $V/r_{13} = \vec{OB}$ を求めれば、第 5 図の作図により図式的に、この固定子巻線を各相巻線とする対称三相誘導電動機の拘



第 5 図

束電流 $(V/\bar{Z}_{13})_{s=1} = \vec{OD}$ が求まる。なお普通の場合は $V/r_{13} \gg (I/3)_{s=1}$ の関係があるから、(25 b) 式は次のように近似的に書くことができ、 $(V/\bar{Z}_{13})_{s=1}$ はただ単に $(I)_{s=1}$ を $2/3$ 倍するだけでよい。

$$(V/\bar{Z}_{13})_{s=1} = 2/3 \cdot (I)_{s=1} \dots\dots\dots (25 c)$$

次にすべりが $0 \sim 10\%$ 程度の場合においては、 V/r_{13} は V/\bar{Z}_{13} に比べてはるかに大きいため、(22) 式の分母における $V/\bar{Z}_{13} + V/\bar{Z}_{23}$ は V/r_{13} と比較して小さくなり、前者を無視して (22) 式を簡単化すれば

$$I \approx 3 \frac{V}{\bar{Z}_{12}} \cdot \frac{V/\bar{Z}_{23}}{V/\bar{Z}_{13} + V/\bar{Z}_{23}} \dots\dots\dots (26)$$

無負荷時すなわち $s=0$ においては $(V/\bar{Z}_{23})_{s=0} = (V/\bar{Z}_{13})_{s=2}$ にして、普通 $(V/\bar{Z}_{13})_{s=2}$ は $(V/\bar{Z}_{13})_{s=1}$ に近い値であり、 $(V/\bar{Z}_{13})_{s=0}$ に比較してはるかに大きい値であるから、 $(V/\bar{Z}_{13})_{s=2} \approx (V/\bar{Z}_{13})_{s=1}$ においても無負荷電流を求める場合には誤差が小さいと考えられる。したがって単相誘導電動機の無負荷時の固定子電流は近似的に次式で表わすことができる。

$$\begin{aligned} (I)_{s=0} &\approx 3 \left(\frac{V}{\bar{Z}_{13}} \right)_{s=0} \cdot \frac{(V/\bar{Z}_{23})_{s=0}}{(V/\bar{Z}_{13})_{s=0} + (V/\bar{Z}_{23})_{s=0}} \\ &\approx 3 \left(\frac{V}{\bar{Z}_{13}} \right)_{s=0} \cdot \frac{(V/\bar{Z}_{13})_{s=2}}{(V/\bar{Z}_{13})_{s=0} + (V/\bar{Z}_{13})_{s=2}} \\ &\approx 3 \left(\frac{V}{\bar{Z}_{13}} \right)_{s=0} \cdot \frac{(V/\bar{Z}_{13})_{s=1}}{(V/\bar{Z}_{13})_{s=0} + (V/\bar{Z}_{13})_{s=1}} \dots\dots\dots 27 a, \end{aligned}$$

対称三相誘導電動機の無負荷固定子電流は

$$\left(\frac{V}{Z_{13}}\right)_{s=0} \approx \left(\frac{I}{3}\right)_{s=0} \cdot \frac{(V/Z_{13})_{s=1}}{(V/Z_{13})_{s=1} - (I/3)_{s=0}} \quad (27b)$$

したがって、単相誘導電動機の無負荷電流 $(I)_{s=0}$ がわかれば、前述の $(V/Z_{13})_{s=1}$ をもって第4図の場合と同様な図式算定法により対称三相誘導電動機の無負荷電流を求めることができる。

以上のことから、対称三相誘導電動機の無負荷電流、 $(V/Z_{13})_{s=0}$ 、拘束電流 $(V/Z_{13})_{s=1}$ が求まり、円線図上のすべりが0および1の2点が求まるから、単相誘導電動機の固定子巻線を各相巻線とする対称三相誘導電動機の円線図を描くことができる。さらに固定子巻線の抵抗を使って $s=\infty$ の点が求まり、正相トルク、逆相トルクも求められる。

4. 単相誘導電動機の図式特性算定法

(4.1) 対称二相誘導電動機の円線図を使った図式特性算定法⁽⁵⁾ 単相誘導電動機の固定子巻線を各相巻線とする対称二相誘導電動機の円線図は、固定子相電流 V/Z_{12} の軌跡である。すべりが s するときのこの電動機の逆相電流 V/Z_{22} は、すべりが $(2-s)$ のときの正相電流 V/Z_{12} に等しいから、 V/Z_{22} もこの円線図から求めることができる。したがって、(14) 式で与えられた単相誘導電動機の固定子電流 I の絶対値 \overline{OP} により、 V/Z_{12} に対する位相角、は第6図の円線図から求めることができる。

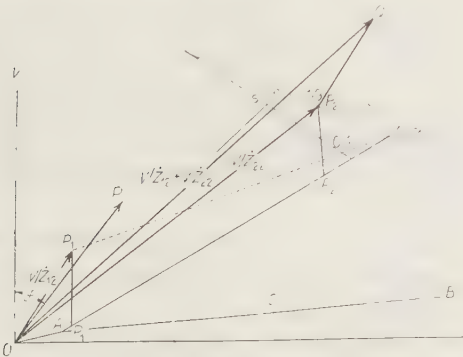
$$\overrightarrow{OP}_1 = V/Z_{12}, \quad \overrightarrow{OP}_2 = V/Z_{22} \quad (28a, b)$$

$$\overrightarrow{OQ} = V/Z_{12} + V/Z_{22} \quad (28c)$$

$$\overline{OP} = 2 \overline{OP}_1 \cdot \overline{OP}_2 / \overline{OQ} \quad (28d)$$

$$\angle \varphi = \angle VOP_1 + \angle P_2OQ \quad (28e)$$

第2図(b)の等価回路から、固定子側に換算された回転子正相電流 I_{rf2}' および回転子逆相電流 I_{rb2}' は、それぞれ次式で表わされる。



第 6 図

$$I_{rf2}' = I \cdot \frac{Z_{rf2}/2}{(r_{r2}'/s + jx_{r2}')/2} \quad (29a)$$

$$I_{rb2}' = I \cdot \frac{Z_{rb2}/2}{\{r_{r2}'/(2-s) + jx_{r2}'\}/2} \quad (29b)$$

したがって、単相誘導電動機の正相トルク T_f および逆相トルク T_b はそれぞれ次式で表わされる。

$$T_f = I^2 \cdot \frac{Z_{rf2}^2}{(r_{r2}'/s)^2 + (x_{r2}')^2} \cdot \frac{r_{r2}'}{2s} \quad (\text{同期ワット}) \quad (30a)$$

$$T_b = I^2 \cdot \frac{Z_{rb2}^2}{\{r_{r2}'/(2-s)\}^2 + (x_{r2}')^2} \cdot \frac{r_{r2}'}{2(2-s)} \quad (\text{同期ワット}) \quad (30b)$$

一方、対称二相誘導電動機の正相トルク T_{12} および逆相トルク T_{22} は、それぞれ

$$T_{12} = 2(V/Z_{12})^2 \cdot \frac{Z_{rf2}^2}{(r_{r2}'/s)^2 + (x_{r2}')^2} \cdot \frac{r_{r2}'}{s} \quad (\text{同期ワット}) \quad (30c)$$

$$T_{22} = 2(V/Z_{22})^2 \cdot \frac{Z_{rb2}^2}{\{r_{r2}'/(2-s)\}^2 + (x_{r2}')^2} \times \frac{r_{r2}'}{(2-s)} \quad (\text{同期ワット}) \quad (30d)$$

にして、かつ第6図の円線図から

$$T_{12} = 2V \cdot \overline{P_1P_1}' \quad (\text{同期ワット}) \quad (30e)$$

$$T_{22} = 2V \cdot \overline{P_2P_2}' \quad (\text{同期ワット}) \quad (30f)$$

であるから、(30a)~(30f) 式から単相誘導電動機の T_f 、 T_b およびトルク T は円線図上の値を使ってそれぞれ次のように表わすことができる。

$$T_f = \frac{T_{12}}{4} \left(\frac{I}{V/Z_{12}} \right)^2 = V \cdot \frac{\overline{P_1P_1}'}{2} \left(\frac{\overline{OP}}{\overline{OP}_1} \right)^2 \quad (\text{同期ワット}) \quad (31a)$$

$$T_b = \frac{T_{22}}{4} \left(\frac{I}{V/Z_{22}} \right)^2 = V \cdot \frac{\overline{P_2P_2}'}{2} \left(\frac{\overline{OP}}{\overline{OP}_2} \right)^2 \quad (\text{同期ワット}) \quad (31b)$$

$$T = T_f - T_b \quad (\text{同期ワット}) \quad (31c)$$

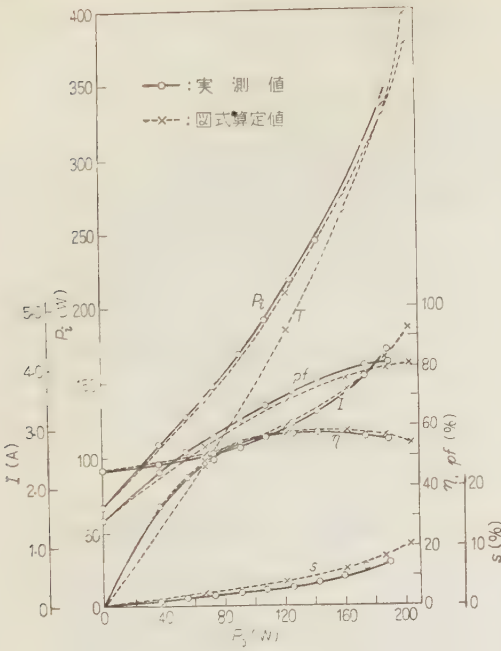
単相誘導電動機の実出力 P_o は次のようになる。

$$P_o = (1-s)T \quad (32)$$

すなわち、単相誘導電動機の固定子巻線を各相巻線とする対称二相誘導電動機の円線図を使ってこの単相誘導電動機の運転特性を図式的に求めることができる。

4 極、60 c/s、100 V、200 W 対称二相誘導電動機の固定子1巻線のみを使用して、無負荷試験、拘束試験および固定子巻線の抵抗を測定して次の結果を得た。

無負荷電流 2.295 A、無負荷力率 28.98%



第 7 図

拘束電流 9.26 A, 拘束力率 69.23 %

固定子巻線の抵抗 4.15 Ω

これらの測定値を使用して (3・1) 節により対称三相誘導電動機の円線図を描き、さらにこの円線図を使って単相誘導電動機の運転特性を図式的に算定すれば、第 7 図点線のようになる。実線はうず電流制動形動力計によって測定した実測値を示す。実測値と計算値とが割合よく一致し、単相誘導電動機の上記の図式特性算定法が妥当であることがわかる。

(4・2) 対称三相誘導電動機の円線図を使った図式特性算定法 単相誘導電動機の固定子巻線を各相巻線とする対称三相誘導電動機の円線図は、固定子相電流 V/Z_{13} の軌跡である。すべりが s するときの V/Z_{23} は、すべりが $(2-s)$ するときの V/Z_{13} に等しいから、 V/Z_{23} もやはりこの円線図から求めることができる。そして単相誘導電動機の固定子電流はすべりが 0~10 % 程度では、近似的に (26) 式で表わされる。この (26) 式は対称三相誘導電動機の定数を使用して求めた単相誘導電動機の固定子電流の (14) 式と全く同じ形である。したがって第 6 図の円線図がこの対称三相誘導電動機の V/Z_{13} 電流円を表わしていると仮定し、かつ $\vec{OP}_1 = V/Z_{13}$, $\vec{OP}_2 = V/Z_{23}$ と仮定すれば、対称三相誘導電動機の円線図を使用した場合と同様の作図により、単相誘導電動機の固定子電流の絶対値 \overline{OP} および印加電圧 V に対する位相 ϕ を図式的に求

めることができる。

$$\overline{OP} = 3 \cdot \overline{OP}_1 \cdot \overline{OP}_2 / \overline{OQ} \dots\dots\dots (33a)$$

$$\angle \varphi = \angle VOP_1 + \angle P_2OQ \dots\dots\dots (33b)$$

次に第 3 図 (b) の等価回路から、固定子側に換算された回転子正相電流および回転子逆相電流を求め、単相誘導電動機の正相トルク T_f および逆相トルク T_b を求めれば

$$T_f = I^2 \cdot \frac{Z_{rf} s^2}{(r_{r3}'/s)^2 + (x_{r3}')^2} \cdot \frac{r_{r3}'}{3s} \text{ (同期ワット)} \dots\dots\dots (34a)$$

$$T_b = I^2 \cdot \frac{Z_{rb} s^2}{\{r_{r3}'/(2-s)\}^2 + (x_{r3}')^2} \cdot \frac{r_{r3}'}{3(2-s)} \text{ (同期ワット)} \dots\dots\dots (34b)$$

である。一方、対称三相誘導電動機の正相トルク T_{13} および逆相トルク T_{23} は、それぞれ

$$T_{13} = 3 \left(\frac{V}{Z_{13}} \right) \frac{Z_{rf} s^2}{(r_{r3}'/s)^2 + (x_{r3}')^2} \cdot \frac{r_{r3}'}{s} \text{ (同期ワット)} \dots\dots\dots (34c)$$

$$T_{23} = 3 \left(\frac{V}{Z_{23}} \right) \frac{Z_{rb} s^2}{\{r_{r3}'/(2-s)\}^2 + (x_{r3}')^2} \cdot \frac{r_{r3}'}{2-s} \text{ (同期ワット)} \dots\dots\dots (34d)$$

にして、やはり第 6 図を流用すれば

$$T_{13} = 3 V \cdot \overline{P_1 P_1}' \text{ (同期ワット)} \dots\dots\dots (34e)$$

$$T_{23} = 3 V \cdot \overline{P_2 P_2}' \text{ (同期ワット)} \dots\dots\dots (34f)$$

であるから、(34a)~(34f) 式から単相誘導電動機の T_f , T_b , トルク T および出力 P_0 は円線図上の値を使って、それぞれ次のように表わすことができる。

$$T_f = \frac{T_{13}}{9} \left(\frac{I}{V/Z_{13}} \right)^2 = V \frac{\overline{P_1 P_1}'}{3} \left(\frac{\overline{OP}}{\overline{OP}_1} \right)^2 \text{ (同期ワット)} \dots\dots\dots (35a)$$

$$T_b = \frac{T_{23}}{9} \left(\frac{I}{V/Z_{23}} \right)^2 = V \frac{\overline{P_2 P_2}'}{3} \left(\frac{\overline{OP}}{\overline{OP}_2} \right)^2 \text{ (同期ワット)} \dots\dots\dots (35b)$$

$$T = T_f - T_b \text{ (同期ワット)} \dots\dots\dots (35c)$$

$$P_0 = (1-s) T \dots\dots\dots (36)$$

すなわち、単相誘導電動機の固定子巻線を各相巻線とする対称三相誘導電動機の円線図を使って、(4・1) 節の場合と同様に、単相誘導電動機の運転特性を図式的に求めることができる。

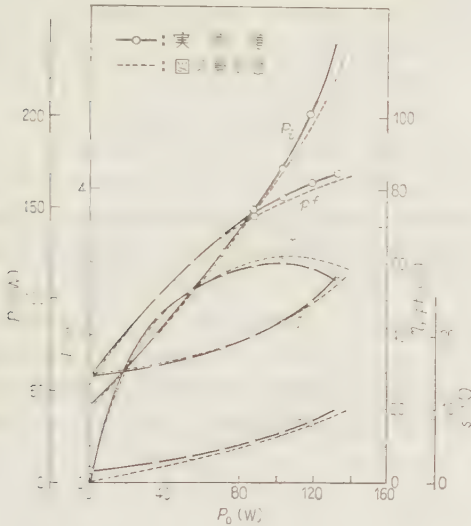
4 極, 60 c/s, 100 V, 100 W の単相誘導電動機の無負荷試験, 拘束試験および固定子巻線の抵抗測定を行って次の結果を得た。

無負荷電流 1.46 A, 無負荷力率 28.42 %

拘束電流 6.45 A, 拘束力率 79.48 %

固定子巻線の抵抗 5.90Ω

これらの測定値を使用して (3・2) 節により対称三相誘導電動機の円線図を描き、さらにこの円線図を使って単相誘導電動機の運転特性を図式的に算定すれば、第 8 図点線のようにになる。実線で示したうず電流制動形動力計によって測定した実測値と比較すると、両者が割合によく一致し、単相誘導電動機のこの図式特性算定法が実用上妥当であることがわかる。



第 8 図

5. 結 言

(1) 多相誘導電動機においては、無負荷試験、拘束試験および固定子巻線の抵抗測定を行えば、その測定値から円線図を描き電動機が求められるわけである。しかし、単相誘導電動機の場合は固定子電流が円軌跡を描かないから、その円線図を求めることができない。

単相誘導電動機の固定子電流は V/\dot{Z}_{12} と V/\dot{Z}_{22} または V/\dot{Z}_{13} と V/\dot{Z}_{23} の関数で表わされる。一方、単相誘導電動機の固定子巻線を各相巻線とする対称二相または対称三相誘導電動機の円線図は、 V/\dot{Z}_{12} と V/\dot{Z}_{22} または V/\dot{Z}_{13} と V/\dot{Z}_{23} を表わしているから、これらの円線図を使用して単相誘導電動機の固定子電流

を図式的に求めることができる。また単相誘導電動機のトルクは上記の対称二相または対称三相誘導電動機の正相トルク T_1 と逆相トルク T_2 の関数で表わされるから、これまた円線図を使って求めることができる。

単相誘導電動機として無負荷試験、拘束試験および固定子巻線の抵抗測定を行うだけで、この単相固定子巻線を各相巻線とする対称二相または対称三相誘導電動機の円線図を描くことができるから、単相誘導電動機が特性を算定するために、このような対称二相または対称三相誘導電動機を特別に製作する必要はない。

普通多相誘導電動機と同じような試験を行って対称二相または対称三相誘導電動機の円線図を描き、次にそれらの円線図を使って図式算定をするという二段階算定になるから、多相誘導電動機の場合よりは多少複雑になる。しかし他の単相誘導電動機が特性算定法^{(6)~(8)}よりは簡単であると思う。

(2) 対称二相または対称三相誘導電動機の円線図から単相誘導電動機が特性を求めているから、単相誘導電動機を設計する場合に、最初に対称二相または対称三相誘導電動機を設計し、それから単相誘導電動機が特性を求めればよい。

(3) 単相誘導電動機が無負荷試験においてすべりは零であると仮定したが、実際には 2% ぐらいの値になること、および定格出力付近ですべりが 20~30% におよぶ場合には、固定子電流の等式を簡略化したことが誤差の原因となる場合もある。

最後に、日ごろご指導を受けている本学竹上教授、名古屋大学宮地教授ならびに実験や計算にご援助願った舟橋助手に紙上より厚くお礼申します。

(昭和 35 年 4 月 2 日受付)

文 献

- (1) 電気学会大学講座：誘導機 p. 193 (昭 26)
- (2) W. J. Morrill: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs **64**, 651 (1954)
- (3) 竹上・林・舟橋：電学誌 **76**, 394 (昭 31)
- (4) 竹上・林・舟橋：電学誌 **77**, 168 (昭 32)
- (5) 竹上・林・生方：昭 26 東京支部連大 4.27
- (6) 小串：円線図 p. 214 (昭 24)
- (7) 天池：昭 22 連大 5.5
- (8) 宮入：昭 27 連大 4.27

気 体 中 の 空 間 電 荷 理 論*

正員 宮 島 重 喜†

正員 山 本 賢 三††

1. 緒 言

よく知られているように真空中の空間電荷制限電流の式は $3/2$ 乗法則によって与えられる。⁽¹⁾ 気体圧力がある程度高い気体中では、速度が電界に比例する場合および電界の $1/2$ 乗に比例する場合について、それぞれ空間電荷制限電流の式がある。⁽²⁾ これらの空間電荷制限電流の式は、それぞれ固有の条件下で成立するはずであるが、この条件はどのようなものであるだろうか。たとえば、気体中の空間電荷式はどの程度の低気圧まで使用できるか、また真空管に気体を少量封入し、漸次気体圧力を増加させた場合、空間電荷制限電流の式は $3/2$ 乗法則からどのようにはずれるか、本研究ではこの種の問題を理論的に解明するのが目的である。

この方面の従来の研究として、渡辺氏ら⁽³⁾は真空領域より速度が電界に比例する領域または速度が電界の $1/2$ 乗に比例する領域への移行の境界として、空間電荷層の厚さと荷電粒子と気体分子との衝突の平均自由行程とが、同じ長さになるという条件で与えている。このように真空領域より移動度法則で与えられる気体中領域への移行を、平均自由行程をもって不連続的に特徴づける方法は、Bohm氏ら⁽⁴⁾およびSchultz氏ら⁽⁵⁾によっても行われている。Schultz氏らの特徴は、個々の荷電粒子に注目し、気体分子と荷電粒子との衝突の過程を個々の荷電粒子のエネルギーの関数として与え、その速度平均値をとって、空間電荷問題を解いている。この考え方は熱陰極真空管の空間電荷制限電流の式への初速度の効果を計算に入れる場合に、陰極での電子のマクスウェル速度分布を考慮して計算する方法に類似している。熱陰極真空管の上述の初速度の効果は、筆者らによって展開された流体力学的な記述の方法、すなわち多くの熱電子の集りを一種の気体と考えて巨視的に取り扱う方法によっても説明することができる。⁽⁶⁾ この巨視的記述の方法と同様の方法で、 $3/2$ 乗法則の成立する真空領域より移動度法則の成立する

気体中領域への移行の問題および前述の問題を取り扱うことができるはずである。以下展開する理論は巨視的流体力学的な見地に立脚している。この理論的結果の応用として、熱陰極ガス封入管の暗流部分、プラズマ中の電子さやおよびイオンさや、イオンポンプなどへの応用が考えられる。

2. 基 礎 の 式

気体分子と1種類の荷電粒子を含む系を考える。この系内では、物質、運動量およびエネルギーの諸保存則が成立しなければならない。もしも荷電粒子の質量が気体分子のそれにくらべて非常に小さいときには、たとえば気体分子中の電子のように、気体分子は静止しているものと考えることができる。このような場合には荷電粒子系の諸保存則が現象の記述に重要な役割を演ずる。荷電粒子の質量を m 、数密度を n 、速度を \mathbf{v} とすると

$$\frac{dn}{dt} = -n \operatorname{div} \mathbf{v} \dots\dots\dots (1)$$

$$mn \frac{d\mathbf{v}}{dt} = en \mathbf{E} - \operatorname{grad} p - \alpha n \mathbf{v} \dots\dots\dots (2)$$

ただし

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \operatorname{grad}) \dots\dots\dots (3)$$

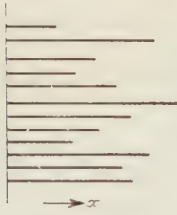
(1) 式は連続の式で、気体分子と荷電粒子との衝突により、気体分子は電離しないとしている。(2) 式の右辺第1項は荷電粒子(電荷 e)が電界 \mathbf{E} の存在のために受ける単位体積あたりの力、第2項は荷電粒子の圧力 p のための力で、第3項は気体分子との衝突によって単位時間、単位体積あたり荷電粒子が失う運動量であって抵抗力と考えることができる。 α はある係数である。分子論的に考えると、平均自由行程の間、荷電粒子と気体分子とは平均として衝突しないことになっているが、(2) 式の抵抗力の表示は、平均自由行程の間といえども連続的に衝突していることを示している。

くわしく説明するために荷電粒子が平面よりある速度分布をもって一次元的に飛びだす場合を考える。平面より飛びだした荷電粒子は速い速度のものも遅い速度のものもあり、気体分子との衝突の場所はまちまち

* Space Charge Theory in Gases. By S. MIYAJIMA, Member & K. YAMAMOTO, Member (Faculty of Engineering, Nagoya University).

† 名古屋大学工学部電気工学科助手

†† 名古屋大学工学部電気工学科教授

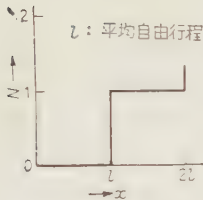
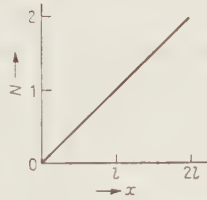


第 1 図



l: 平均自由行程

第 2 図

第 3 図 平均衝突回数 N と進行距離 x の関係を分子論的に示す第 4 図 第 3 図の N と x との関係を流体力学的に示す

である。この様子を第 1 図に示す。分子論的にこの現象を整理すると、平均としては平均自由行程 l だけ進んだところで、気体分子と荷電粒子とが衝突するようになる。これを第 2 図に示す。この図を、縦軸に平均としての衝突回数を取り、横軸に荷電粒子の進む距離 x をとった図に書きなおすと、第 3 図のように階段的になる。第 1 図の無秩序な衝突をこのように分子論的に整理する代わりに、第 4 図のようにすべての距離 x で少しずつ連続的に衝突していて、 x が平均自由行程 l に等しくなったところで平均としての衝突回数が初めて 1 になるというように整理することができる。このような考え方は流体力学的な考え方である。以上の考察は衝突についてであるが、衝突による運動量の変化、エネルギーの変化を取り扱う場合にも分子論的考え方と流体力学的な考え方がある。(2) 式の抵抗力の表示は衝突現象の第 4 図のような連続的な考え方に立脚している。

(2) 式の成立条件として、文献 (7) では気体分子の質量が荷電粒子の質量にくらべて非常に大きいという条件のほかに、荷電粒子の数が気体分子のそれにくらべて小さいということを条件としている。このことは荷電粒子相互間の作用がクーロン力であって、衝突断面積が発散する問題に関係している。すなわち荷電粒子相互間の衝突数は荷電粒子と気体分子間の衝突数にくらべて小さいときには、いま述べた発散は問題にならないという意味である。しかしながらこの発散の問題は理論的に与えられている散乱法則、たとえば Rutherford の散乱法則が発散の性質をもっているのでは

って、発散するような散乱が実在するかどうか、そこが明らかになっていないことは注意しなければならない。巨視的には荷電粒子相互間の運動量の変化は保存される必要があるので、(2) 式には含まれてこないであろう。それゆえに (2) 式の成立条件として、荷電粒子の数が気体分子数にくらべて小さいという条件は本質的でないと思われる。

(2) 式における抵抗力の α は、衝突周波数 (荷電粒子と気体分子間の衝突) を ν 、気体分子の質量を m_a とすると

$$\alpha = \nu \frac{mm_a}{m+m_a} \dots\dots\dots (4)$$

の関係がある。(4) 式で与えた α は非弾性衝突を含んではないことを注意しておく。また $m_a/(m+m_a)$ は 1 回の弾性衝突で荷電粒子が失う運動量の割合である。この α は後で移動度と関係づける。

もしも気体分子の数が零であるならば ν は零で、したがって α は零である。こういう場合 (2) 式は、さきにわれわれが、真空中の多くの熱電子の巨視的性質を記述するのに使用した⁽⁶⁾運動の式になっている。

もしも (2) 式の $m\nu dv/dt$ の慣性項が省略できるならば、そのときには (2) 式を v について解くと

$$v = \frac{e}{\alpha} E - \frac{1}{\alpha n} \text{grad } p \dots\dots\dots (5)$$

ここで

$$e/\alpha = b_1$$

で b_1 を与えるとき、この b_1 は移動度としてよく知られている量であることがわかる。(5) 式の第 2 項は完全気体の状態方程式 $p = nkT$ を使用し、(T : 荷電粒子の温度、 k : ボルツマン定数) T が一定であるとすると密度こう配による拡散項になっている。(5) 式はそれゆえある程度気体圧力が高いときの荷電粒子の運動の式である。

以上のことから、(2) 式が真空中をも含めて任意の気体圧力の荷電粒子の運動の式を与えていると考えることができる。この際本質的な仮定は、前に述べたが、気体分子が静止しているということである。

次にエネルギー保存の式、いいかえれば荷電粒子の温度の式が必要である。温度の式は気体分子が静止しているという仮定のもとでは簡単に計算できるが、この式を与えても結果的に方程式群の結合が密になるばかりで、事態はますます複雑化する。すなわち n と v は (1), (2) 式より定まるが、(2) 式に含まれている p は荷電粒子の温度を含み、温度の式には v と n が複雑に含まれるはずである。このことを簡単化するよい方法は、温度を次のように仮定することである。

- (i) $T = \text{一定}$ (6)
 (ii) $T \propto v^2$ (7)
 (iii) $T - T_a \propto v^2$ (7a)

荷電粒子の温度 T が一定である場合を第3章で取り扱う。(ii) の場合を第4章で取り扱う。(ii) は荷電粒子の運動エネルギーと温度とが比例するということに基づいている。(iii) は荷電粒子の温度と気体分子の温度 T_a の差が荷電粒子のエネルギーに比例するものと考えている。これは (ii) の修正であるが、荷電粒子の運動速度が小さいときには、(i) の修正と考えることもできる。この場合を第5章で取り扱う。

以上の諸式より、 n と v を求めるため、 E に関する式が必要である。すなわち、

$$\text{div } \mathbf{E} = en/\epsilon_0 \quad \text{..... (8)}$$

ここで ϵ_0 は $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ の数値である。 E は電位 V より導くことにし

$$\mathbf{E} = -\text{grad } V \quad \text{..... (9)}$$

電流密度 \mathbf{J} は次の式で定義しておく。

$$\mathbf{J} = env + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad \text{..... (10)}$$

この論文全体を通じて、われわれは $\text{grad } p$ の効果は議論から除外する。この条件がみたされるのは p の定義より容易にわかるように⁽⁸⁾

$$v^2 \gg v_0^2 \quad \text{..... (11)}$$

であればよい。ただし v_0 は平均熱運動速度の大きさで $(kT/m)^{1/2}$ をとる。 $\text{grad } p$ の効果については真空中の場合、また (5) 式が成立する気体中の場合についてそれぞれ論じておいた。⁽⁶⁾⁽⁹⁾

3. 気体中の Llewellyn 氏の式

(3.1) 式の導出 空間的に一次元である場合、速度 v を v として、第2章の諸式は

$$\frac{dn}{dt} = -n \frac{\partial v}{\partial x} \quad \text{..... (12)}$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{e}{m} E - \frac{\alpha}{m} v \quad \text{..... (13)}$$

$$\frac{\partial E}{\partial x} = \frac{en}{\epsilon_0} \quad \text{..... (14)}$$

$$E = -\frac{\partial V}{\partial x} \quad \text{..... (15)}$$

$$\mathbf{J} = env + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad \text{..... (16)}$$

$$\alpha \equiv \alpha(x, t) \quad \text{..... (17)}$$

E と J は x 方向の \mathbf{E} と \mathbf{J} である。(14) 式と (16) 式より

$$\frac{dE}{dt} = \frac{J}{\epsilon_0} \quad \text{..... (18)}$$

(13) 式を t に関して微分し、(18) 式を用いて

$$\frac{d^2 v}{dt^2} = \frac{eJ}{m\epsilon_0} - \frac{\alpha}{m} \frac{dv}{dt} \quad \text{..... (19)}$$

(19) 式で $\alpha = 0$ ならば Llewellyn 氏の式⁽¹⁰⁾ のもので、(19) 式は気体分子が存在する場合の式である。(18), (19) 両式で E と v が t の関数として求まる。 x と V は次のようにして求められる。

$$x - x_1 = \int_{t_1}^t v dt \quad \text{..... (20)}$$

$$-(V - V_1) = \int_{t_1}^t E v dt \quad \text{..... (21)}$$

ただし、 x_1 と V_1 とは $t = t_1$ の x および V の値である。

(3.2) 定常解 定常状態では (3) 式より

$$d/dt = v d/dx$$

であるから、

$$\tau - \tau_1 = \int_{x_1}^x \frac{dx}{v} \quad \text{..... (22)}$$

で τ を定義すると、(18)~(20) 式は t を τ におきかえればそのまま使用でき、 E , v , x , V を τ の関数として求めることができる。定常状態では J は定数であるので簡単である。

境界条件として $x = 0$ で $v = 0$, $dv/d\tau = 0$, $E = 0$, $V = 0$ とすると

$$E = \frac{J}{\epsilon_0} \tau \quad \text{..... (23)}$$

$$v = \frac{eJ}{\epsilon_0 \alpha} \tau - \frac{emJ}{\epsilon_0 \alpha^2} (1 - \epsilon^{-\frac{\alpha}{m} \tau}) \quad \text{..... (24)}$$

$$x = \frac{eJ}{2\epsilon_0 \alpha} \tau^2 - \frac{emJ}{\epsilon_0 \alpha^2} \tau + \frac{em^2 J}{\epsilon_0 \alpha^3} (1 - \epsilon^{-\frac{\alpha}{m} \tau}) \quad \text{..... (25)}$$

$$-V = \frac{eJ^2}{3\alpha\epsilon_0^2} \tau^3 - \frac{emJ^2}{2\alpha^2\epsilon_0^2} \tau^2 - \frac{em^2 J^2}{\epsilon_0^2 \alpha^3} \tau \epsilon^{-\frac{\alpha}{m} \tau} + \frac{em^3 J^2}{\epsilon_0^2 \alpha^4} (1 - \epsilon^{-\frac{\alpha}{m} \tau}) \quad \text{..... (26)}$$

(23) 式と (24) 式で τ を消去すると v と E の一般の関係式が得られる。また (25) 式と (26) 式で τ を消去すると、空間電荷制限電流の特性式が得られる。

(3.3) $v \propto E^2$ 領域 (真空領域) $\alpha/m \ll 1$ の場合を考える。 $\exp(-\alpha\tau/m)$ を展開して主要項をとると、(24), (25) 式および (26) 式は

$$v = \frac{eJ}{2m\epsilon_0} \tau^2 \dots\dots\dots (27)$$

$$x = \frac{eJ}{6\epsilon_0 m} \tau^3 \dots\dots\dots (28)$$

$$-V = \frac{eJ^2}{8m\epsilon_0^2} \tau^4 \dots\dots\dots (29)$$

(23) 式を使用すると (27) 式は $v \propto E^2$ の関係になる。(28) 式と (29) 式より τ を消去すると

$$J = \frac{4}{9} \epsilon_0 \left(\frac{2e}{m} \right)^{1/2} \frac{(-V)^{3/2}}{x^2} \dots\dots\dots (30)$$

となり、これは真空中の空間電荷制限電流の式である。それゆえに真空領域または $v \propto E^2$ 領域は数パーセント程度の誤差を許す範囲で

$$\alpha \tau / m \leq 0.2 \dots\dots\dots (31)$$

の τ の領域である。これに対応する x と $-V$ の領域は (31) 式を (28) 式および (29) 式に代入して

$$x \leq \frac{eJ}{6\epsilon_0} \frac{m^2}{\alpha^3} (0.2)^3 \dots\dots\dots (32)$$

$$|-V| \leq \frac{eJ^2}{8\epsilon_0^2} \frac{m^3}{\alpha^4} (0.2)^4 \dots\dots\dots (33)$$

で与えられる。

(3.4) $v \propto E$ 領域 (3.3) 節の場合と逆に $\alpha \tau / m \gg 1$ の場合には、(24)、(25) 式および (26) 式は

$$v = \frac{eJ}{\epsilon_0 \alpha} \tau \dots\dots\dots (34)$$

$$x = \frac{eJ}{2\epsilon_0 \alpha} \tau^2 \dots\dots\dots (35)$$

$$-V = \frac{eJ^2}{3\alpha\epsilon_0^2} \tau^3 \dots\dots\dots (36)$$

(23) 式を使って (34) 式の τ を消去すると $v \propto E$ の法則が得られ、(35) 式と (36) 式とで τ を消去すると

$$J = \frac{9\epsilon_0 e}{8\alpha} \frac{(-V)^2}{x^3} \dots\dots\dots (37)$$

の関係式が得られる。これは $v \propto E$ の場合のよく知られた空間電荷制限電流の式である。かくて $v \propto E$ 領域が成立するときは、数パーセント程度の誤差を許す範囲で

$$\alpha \tau / m \geq 40 \dots\dots\dots (38)$$

の τ の領域である。この領域に対応する x および $-V$ の領域は、(38) 式を (35) 式および (36) 式に代入して

$$x \geq \frac{eJ}{2\epsilon_0} \frac{m^2}{\alpha^3} (40)^2 \dots\dots\dots (39)$$

$$|-V| \geq \frac{eJ^2}{3\epsilon_0^2} \frac{m^3}{\alpha^4} (40)^3 \dots\dots\dots (40)$$

で与えられる。

(3.5) 計算例 上記の各領域を明示するために具体的に計算する。水素原子にたいする荷電粒子の質量比を A 、1 mmHg の移動度を b_{10} 、気体圧力を p_a (mmHg) とすると、(32)、(33)、(39) 式および (40) 式は、それぞれ

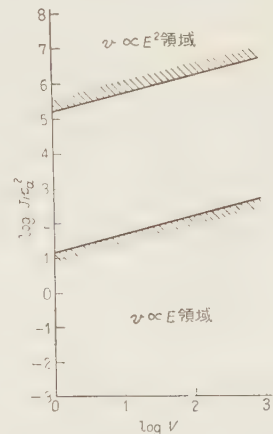
$$p_a x \leq 1.64 \times 10^{-8} A^2 (J/p_a^2) b_{10}^3 \dots\dots\dots (41)$$

$$|-V| \leq 2.9 \times 10^{-5} A^3 (J/p_a^2)^2 b_{10}^4 \dots\dots\dots (42)$$

$$p_a x \geq 9.84 \times 10^{-3} A^2 (J/p_a^2) b_{10}^3 \dots\dots\dots (43)$$

$$|-V| \geq 3.10 \times 10^3 A^3 (J/p_a^2)^2 b_{10}^4 \dots\dots\dots (44)$$

となる。単位は MKS を使用する。He 気体中の電子の場合には $b_{10} = 10 \text{ m}^2/\text{Vs}$ であって、⁽¹¹⁾ $|-V|$ と J/p_a^2 の関係を示すと第 5 図のようになる。 $v \propto E^2$ 領域より $v \propto E$ 領域への移行は非常に緩慢である。



縦軸は $J/p_a^2 [\text{A}/\text{m}^2/(\text{mmHg})^2]$ で He 中の電子の場合
第 5 図 $v \propto E^2$ 法則と $v \propto E$ 法則が成立する $V(V)$ の領域

4. 速度の二乗に比例する抵抗力を考慮した場合

(4.1) 運動の式の修正 荷電粒子の温度がその運動エネルギーに比例する場合には、衝突周波数 ν は (平均自由行程を一定として) 温度の $1/2$ 乗に比例するので、 α は v に比例することになる。すなわち

$$\alpha \propto (T)^{1/2} \propto v \dots\dots\dots (45)$$

この場合、抵抗力 $-n\alpha v \propto -nv^2$ となり、運動の式は定常状態に対して

$$v \frac{dv}{dx} = \frac{e}{m} E - \frac{\beta}{m} v^2 \dots\dots\dots (46)$$

ここで β は比例係数である。慣性項が省略できる条

件下では

$$v = (eE/\beta)^{1/2} = b_2 E^{1/2} \dots\dots\dots (47)$$

$$\text{ただし } b_2 = (e/\beta)^{1/2}$$

である。(47) 式はよく知られた $v \propto E^{1/2}$ 法則を与えている。

(4・2) 定常解 Poisson の式、電流密度の定義より

$$v \frac{dv}{dx} = v \frac{dE}{dx} \frac{dv}{dE} = \frac{J}{\epsilon_0} \frac{dv}{dE} \dots\dots\dots (48)$$

したがって (46) 式は

$$\frac{dv}{dE} = \frac{e\epsilon_0}{mJ} E - \frac{\epsilon_0\beta}{mJ} v^2 \dots\dots\dots (49)$$

となり、 v を E の関数として与えることができる。

このとき x および V は

$$x - x_1 = \frac{\epsilon_0}{J} \int_{E_1}^E v dE \dots\dots\dots (50)$$

$$-(V - V_1) = \frac{\epsilon_0}{J} \int E v dE \dots\dots\dots (51)$$

より E の関数として求めることができる。(49) 式を解くために

$$x = \log y / \beta \dots\dots\dots (52)$$

で y を定義する。このとき

$$v = \frac{J}{\epsilon_0} \frac{dx}{dE} = \frac{J}{\beta\epsilon_0} \frac{1}{y} \frac{dy}{dE} \dots\dots\dots (53)$$

これを (49) 式に代入して

$$\frac{d^2 y}{dE^2} = \left(\frac{\epsilon_0}{mJ} \right)^2 e\beta E y \dots\dots\dots (54)$$

この式は変形されたベッセル関数で解が与えられる。簡単のため $E=0$ で $v=0$, $x=0$ (または $y=1$) になるような解を与えると

$$y = \frac{\Gamma\left(\frac{2}{3}\right)}{2^{1/3}} z^{1/3} I_{-1/3}(z) \dots\dots\dots (55)$$

ただし

$$z = \frac{2}{3} \left(\frac{\epsilon_0}{mJ} \right) (e\beta)^{1/2} E^{3/2} \dots\dots\dots (56)$$

ここで I は変形されたベッセル関数である。 v は (53) 式より

$$v = \left(\frac{3meJ}{2\epsilon_0\beta^2} z \right)^{1/3} \frac{I_{2/3}(z)}{I_{-1/3}(z)} \dots\dots\dots (57)$$

x は (55) 式の y を (52) 式に代入して得られる。 V は (51) 式で計算されるが積分は容易でない。

(4・3) $v \propto E^2$ 領域と $v \propto E^{1/2}$ 領域 $z \ll 1$ の場合には $I_{2/3}$ および $I_{-1/3}$ の級数表示より $v \propto z^{4/3} \propto E^2$ の関係になる。 y は近似的に

$$y = 1 + 3z^2/8$$

で $\log y$ は $3z^2/8$ に等しいとしてよい。したがって

$$x = \frac{3m}{e\beta} z^2 \dots\dots\dots (58)$$

また V は $z \ll 1$ の条件で (51) 式を積分して

$$-V = \frac{1}{5} \left(\frac{3}{2} \right)^{8/3} \left(\frac{m}{e} \right)^{5/3} \left(\frac{e}{\beta} \right)^{4/3} \left(\frac{J}{\epsilon_0} \right)^{2/3} z^{8/3} \dots\dots\dots (59)$$

となる。(58) 式と (59) 式で z を消去すると、3.2 乗の法則が得られる。

$z \gg 1$ の場合には $I_{2/3}/I_{-1/3}$ は 1 と考えられるので $v \propto z^{1/3} \propto E^{1/2}$ となる。 $z \gg 1$ であるので $I_{-1/3}$ の漸近級数表示を使用して $\log y \approx z$ で与えられる。したがって

$$x = \frac{m}{\beta} z \dots\dots\dots (60)$$

また

$$-V = \frac{3}{5} \left(\frac{3}{2} \right)^{2/3} \left(\frac{m}{e} \right)^{5/3} \left(\frac{e}{\beta} \right)^{4/3} \left(\frac{J}{\epsilon_0} \right)^{2/3} z^{5/3} \dots\dots\dots (61)$$

となる。(60) 式と (61) 式とより

$$J = \frac{2 \times 5^{3/2} \epsilon_0}{3^{5/2}} \left(\frac{e}{\beta} \right)^{1/2} \frac{(-V)^{3/2}}{x^{5/2}} \dots\dots\dots (62)$$

の関係が得られる。これは $v \propto E^{1/2}$ の場合の空間電荷制限電流の式としてよく知られている式である。

数パーセント程度の誤差を許すならば $v \propto E^2$ 領域は

$$z \leq 0.2 \dots\dots\dots (63)$$

の z の領域で、また $v \propto E^{1/2}$ の領域は

$$z \geq 8 \dots\dots\dots (64)$$

の z の領域である。

(4・4) 計算例 1 mmHg の b_2 を b_{20} とする。

(63) 式を (58) 式および (59) 式に代入して、それぞれ

$$p_a x \leq 7.04 \times 10^{-10} A b_{20}^2 \dots\dots\dots (65)$$

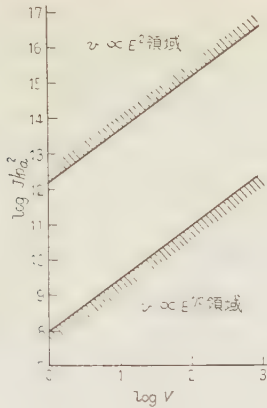
$$|-V| \leq 9.27 \times 10^{-9} A^{5/3} b_{20}^{8/3} (J/p_a^2)^{2/3} \dots\dots\dots (66)$$

が得られる。これは真空の領域である。また $v \propto E^{1/2}$ 法則が成立する領域は、(64) 式を (60) 式および (61) 式に代入して、それぞれ

$$p_a x \geq 1.14 \times 10^{-7} A b_{20}^2 \dots\dots\dots (67)$$

$$|-V| \geq 1.57 \times 10^{-5} A^{5/3} b_{20}^{8/3} (J/p_a^2)^{2/3} \dots\dots\dots (68)$$

He 気体中の電子に対して $b_{20} \approx 10^2$ MKS で結果は第 6 図のようになる。第 6 図では $|-V|$ と J/p_a^2 の関係で $v \propto E^2$ 領域と $v \propto E^{1/2}$ 領域が与えてある。



縦軸は $J/p_a^2 [\text{A/m}^2/(\text{mmHg})^2]$ で He 中の電子の場合
第 6 図 $v \propto E^2$ 法則と $v \propto E^{1/2}$ 法則が成立
する $V(V)$ の領域

5. $v \propto E$ 領域と $v \propto E^{1/2}$ 領域

第 5 図と第 6 図よりわかるように、 $v \propto E^2$ 領域より $v \propto E$ 領域への移行と、 $v \propto E^2$ 領域より $v \propto E^{1/2}$ 領域への移行との間に大きな差がある。気体中の荷電粒子の移動はよく知られているように、小さい E/p_a に対して $v \propto E$ 法則が成立し、大きい E/p_a に対しては $v \propto E^{1/2}$ 法則が成立する。それゆえに同じ E に対して p_a が小さくなると、 $v \propto E \rightarrow v \propto E^{1/2} \rightarrow v \propto E^2$ の領域に移行してゆく。第 4 章で $v \propto E^{1/2}$ 領域と $v \propto E^2$ 領域との関係を論じたので、ここでは $v \propto E$ 領域と $v \propto E^{1/2}$ 領域との関係を論ずる。前章では荷電粒子の温度が運動エネルギーに比例すると考えたが、この章では荷電粒子の温度と気体分子の温度差が、すなわち $T - T_a$ が運動エネルギーに比例するとしよう。この場合 (2) 式の α は

$$\alpha \rightarrow (\alpha^2 + \beta^2 v^2)^{1/2} \dots (69)$$

とおきかえることができる。ここでは $v \propto E^2$ 領域を問題にしていないので、運動の式の慣性項を省略して

$$eE = (\alpha^2 + \beta^2 v^2)^{1/2} v \dots (70)$$

(70) 式を v について解き、物理的に意味のある符号をとると

$$v = \left[\left\{ \left(\frac{\alpha^2}{2\beta^2} \right)^2 + \left(\frac{eE}{\beta} \right)^2 \right\}^{1/2} - \frac{\alpha^2}{2\beta^2} \right]^{1/2} \dots (71)$$

(71) 式は

$$\frac{1}{4} \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^4 \gg \left(\frac{e}{\beta} E \right)^2 \dots (72)$$

の場合、 $v = eE/\alpha = b_1 E$ で、

$$\frac{1}{4} \left(\frac{\alpha}{\beta} \right)^4 \ll \left(\frac{e}{\beta} E \right)^2 \dots (73)$$

の場合、 $v = (eE/\beta)^{1/2} = b_2 E^{1/2}$ となる。

(72) 式および (73) 式の条件は 5% 程度の誤差を許すならば、 $v \propto E$ 領域は、(72) 式より

$$E/p_a \leq 0.1 (b_{20}/b_{10})^2 \dots (74)$$

$v \propto E^{1/2}$ 領域は、(73) 式より

$$E/p_a \geq 2 (b_{20}/b_{10})^2 \dots (75)$$

速度が (71) 式で与えられる場合には x と V は E の関数として、前章と同様の方法で求めることができる。この際積分はすべて初等的に簡単に計算できる。

この解はここでは与えない。われわれはいま $v \propto E$ 領域および $v \propto E^{1/2}$ 領域の成立条件を問題にしたいからである。

$v \propto E$ の場合には、 x と V は E の関数として次のように与えられる。

$$x = eE^2/2\alpha \dots (76)$$

$$-V = e\epsilon_0 E^4/8\alpha J \dots (77)$$

これらの式の E に (74) 式を代入すると $v \propto E$ 法則が成立する x および $|-V|$ の領域が得られる。すなわち

$$p_a x \leq 5 \times 10^{-3} (b_{20}^4/b_{10}^3) \dots (78)$$

$$|-V| \leq 5.9 \times 10^{-15} (p_a^2/J) (b_{20}^6/b_{10}^5) \dots (79)$$

$v \propto E^{1/2}$ の場合には、 x と V は E の関数として次のように与えられる。

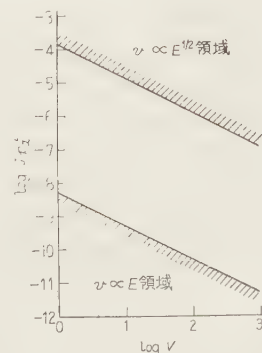
$$x = \frac{2}{3} \left(\frac{e}{\beta} \right)^{1/2} E^{3/2} \dots (80)$$

$$-V = \frac{4}{15} \frac{\epsilon_0}{J} \left(\frac{e}{\beta} \right)^{1/2} E^{5/2} \dots (81)$$

(80) 式と (81) 式の E に (75) 式の E を代入するときは、 $v \propto E^{1/2}$ 法則が成立する x および $|-V|$ の領域が得られる。すなわち

$$p_a x \geq 1.89 (b_{20}^4/b_{10}^3) \dots (82)$$

$$|-V| \geq 1.34 \times 10^{-11} (p_a^2/J) (b_{20}^6/b_{10}^5) \dots (83)$$



縦軸は $J/p_a^2 [\text{A/m}^2/(\text{mmHg})^2]$ で He 中の電子の場合
第 7 図 $v \propto E^{1/2}$ 法則と $v \propto E$ 法則が成立
する $V(V)$ の領域

第3章, 第4章と同様に一例としてHe中の電子の場合をとると第7図のようになる。この図では $|-V|$ の領域が J/pa^2 の関数として与えられている。

6. 吟 味

(6.1) 荷電粒子の温度 前述の係数 α は, 弾性衝突の範囲内で, 衝突周波数に比例する。この衝突周波数は, もしも平均自由行程が一定ならば荷電粒子と気体分子との平均温度の $1/2$ 乗に比例する。荷電粒子が電子ならば, そのときには平均温度として電子温度をとる。荷電粒子がイオンであるときは, イオン温度は電子の場合のように簡単でない。

気体分子中の電子のように, 気体分子が巨視的に静止していると考えられるときには, 電子温度 T は

$$n \frac{d}{dt} \left(\frac{3}{2} kT \right) + p \operatorname{div} \mathbf{v} = \alpha n v^2 - \operatorname{div} \mathbf{J}_w \\ - \delta n (T - T_a) \dots \dots \dots (84)$$

で近似できる。左辺第2項は断熱変化によるエネルギー変化である。右辺第1項は気体分子との衝突による抵抗力のする仕事で摩擦熱と考えられる。右辺第2項は熱流 \mathbf{J}_w のための熱損, 右辺第3項は気体分子との衝突によって電子が損失するエネルギーで, δ は係数である。 δ は弾性衝突の範囲内で α と同様に, 衝突周波数 ν に比例する。定常状態で, 気体圧力が高く, 断熱変化および熱流の項が省略できるときは

$$T - T_a \propto v^2 \dots \dots \dots (7a)$$

気体圧力が減少すると, それに応じて α, β は減少するので, (7a)式は成立しなくなる。気体圧力が零ならば, (84)式は荷電粒子のみ存在する系の温度の式である。気体圧力が零のときには, 荷電粒子の温度は, 空間的に, 断熱変化する場合と定温的に経過する場合の両極端な場合があって, 一般には両者の中間⁽¹²⁾である。

空間電荷の問題との関係において, 第5章で仮定として使用した(7a)式は正しいと思われる。第5章ではある程度気体圧力が高い場合であるためである。第3章, 第4章で使用した仮定, すなわち(6)式および(7)式は仮定の領域を脱することができない。というのは第3章, 第4章では気体圧力が零の場合も含まれているからである。

(6.2) 拡散効果 この論文では境界条件として, $x=0$ で $v=0$ としている。このために $v^2 \gg v_0^2$ の条件がみたされないとこがでてくる。この場合には $\operatorname{grad} p$ の項は運動の式より省略することはできない。ことに熱陰極より電子が飛びだすような場合には, 拡散効果は常に小さいとは限らない。しかしながら, 本

論文では拡散効果を論ずることが主要目的であるわけではなく, $v^2 \gg v_0^2$ をみたさないところがあっても, 結果に本質的な影響を与えない条件下で考えている。

また真空中より気体中への移行において拡散効果の演ずる役割を計算にに入れることは, 真空中⁽⁶⁾および気体中⁽⁹⁾での拡散効果の複雑な役割から考えて, きわめて困難な計算になることが予想される。

(6.3) 気体分子の運動 荷電粒子が気体分子に衝突し, 気体分子の受取る運動量が大きくなる場合には, 気体分子の運動を無視することはできない。気体分子が運動する場合, 荷電粒子と気体分子の運動の式は次の式で近似できる。

$$m n \frac{d\mathbf{v}}{dt} = ne\mathbf{E} - \operatorname{grad} p - m a \gamma (\mathbf{v} - \mathbf{v}_a) \dots \dots \dots 85$$

$$m_a n_a \frac{d\mathbf{v}_a}{dt} = -\operatorname{grad} p_a - m a \gamma (\mathbf{v}_a - \mathbf{v}) \dots (86)$$

添字 a は気体分子に関する量を示す。また γ はある係数である。荷電粒子は衝突において単位時間・単位体積あたり $m a \gamma (\mathbf{v} - \mathbf{v}_a)$ の運動量を失い, 同じ量だけ気体分子系が受取る。これが気体分子の運動の式の左辺第2項の意味である。気体分子の運動はこの項のみ通例の流体と異なる。もちろん荷電粒子系と気体分子系の合成系よりみれば, この衝突項は零で, 運動量は保存されている。

荷電粒子系よりみれば, たとえば電流は気体分子の速度によって制御されるように, 諸種の現象は気体分子系によって変化する。一方気体分子系よりみると, 前述のように, 衝突項のみ通例の流体と異なり, この項を通じて, 気体分子は荷電粒子によって加速される。イオンゲッタポンプはこの点を利用しているのであるが, (85)式と(86)式はその現象の記述に使用することができる。

7. 結 言

結論を要約すると

(1) 任意の気体圧力中での荷電粒子の運動は電界で加速され, 気体分子の存在のために抵抗を受けつつ流れる流体の式で記述できる。抵抗力が速度に比例する場合には, 圧力こう配のための力を省略して, 一般化された任意の気体中のLlewellyn氏の式, (19)式が得られる。空間電荷問題の解は, 極限として真空中の空間電荷制限電流の式が得られ, いま一つの極限として, 速度が電界に比例する気体中の空間電荷制限電流の式が得られる。 $v \propto E^2$ 領域(真空領域)および $v \propto E$ 領域は, 前者に対して(41)式と(42)式, 後

者に対して (43) 式と (44) 式で与えられる。

(2) 抵抗力が速度の 2 乗に比例する場合には、 $v \propto E^2$ 領域より $v \propto E^{1/2}$ 領域への移行を取り扱うことができる。 $v \propto E^2$ 法則が成立する条件は (65) 式と (66) 式で与えられる。また $v \propto E^{1/2}$ 法則が使用できる条件は (67), (68) 式で与えられる。

(3) $v \propto E^{1/2}$ 領域と $v \propto E$ 領域の移行を取り扱うための速度の式は、荷電粒子と気体分子の温度差が荷電粒子の運動エネルギーに比例するとして、(70) 式で与えられる。 $v \propto E^{1/2}$ 法則の成立する領域は (82), (83) 両式で与えられ、また $v \propto E$ 法則の成立する領域は (78), (79) 両式で与えられる。

(4) 各領域間の移行は緩慢に変化する。真空中より $v \propto E$ 領域、または $v \propto E^{1/2}$ 領域への移行は平均自由行程によって、ある程度特徴づけることができるが、定量的には不連続に移行しない。

(5) 今後の問題として、荷電粒子の温度の厳密な考慮、圧力こう配および初期条件の考慮、気体分子の

運動を荷電粒子の運動と同時に取り扱うことなどがあげられる。

なお実験との比較検討は次回にゆずる。

本研究は文部省科学研究費の援助で行った。

(昭和 35 年 4 月 2 日受付)

文 献

- (1) I. Langmuir: Phys., Rev. **2**, 450 (1913)
- (2) たとえば、渡辺: 空間電荷電導論 (昭 25) 修教社
- (3) 渡辺・小林: 電学誌 **74**, 388 (昭 29); 渡辺・小林・三井: 電学誌 **74**, 1053 (昭 29)
- (4) D. Bohm, E.H. Burhop & H.S.W. Massey: The Characteristics of Electrical Discharge in Magnetic Fields (1949) McGraw-Hill
- (5) G.J. Schultz & S.C. Brown: Phys. Rev. **98**, 1642 (1956)
- (6) 宮島・山本: 電学誌 **80**, 326 (昭 35)
- (7) T. Kihara: Revs. Modern Phys. **24**, 45 (1952)
- (8) たとえば文献 (7)
- (9) 宮島・山本: 電学誌 **80**, 19 (昭 35)
- (10) F. Llewellyn: Proc. Inst. Radio Engrs. **21**, 1532 (1933)
- (11) L.B. Loeb: Basic Processes of Gaseous Electronics, Chapt. III (1955) University of California Press
- (12) 宮島・山本: 電学誌 **80**, 511 (昭 35)

UDC 621.317.333.82: 621.3.018.756: 621.314.21.001.4

変圧器の衝撃電圧試験における印加電圧波形の算定*

資料・論文

35-86

正員 岩 崎 晴 光†

1. ま え が き

変圧器の衝撃電圧試験に際しては、所定の印加電圧波形を得るように、衝撃電圧発生器の回路定数を選定する必要がある。非接地試験や集中静電容量とみなせる場合の印加電圧波形は、二つの指数関数の差として計算が可能であるが、⁽¹⁾ 大形変圧器の接地試験では、印加電圧波形の算定ができず、発生器の回路定数は試行的に調整し、経験によって定め、波形の調整が不充分の場合もあった。

著者は接地試験における印加電圧波形の算定をもくろみ、まず試験条件における変圧器の2端子等価回路を多数、実測によって求め、これと衝撃電圧発生器と組み合わせて、分母が三次の演算子式の形の回路として、印加電圧波形を計算し、回路定数が与えられた場合の規約の波頭長、波尾長および利用率を求める図表を作成した。次に、変圧器および印加電圧波形が与えられた場合の発生器の回路定数の決定の方法を示した。したがって、発生器回路をあらかじめ算定することが可能となった。

電力用変圧器はますます大形化し、印加電圧波形、特に波尾長の保持は困難なる現状にかんがみ、以上の計算法を用いて、波尾長を最大にすべき回路条件、必要な最小の衝撃電圧発生器容量と波尾長について考察した。

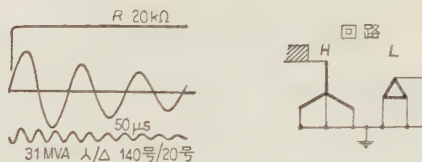
2. 変圧器の接地衝撃電圧試験

における等価回路

他巻線を短絡または低抵抗で接地した、接地試験条件の変圧器の等価回路は、林、岩本両氏の方法⁽²⁾により、単位電流を流した場合の、印加端と接地端の2端子間の電圧波形が、

$$v_x(t) = A_x e^{-\alpha_x t} \sin \omega_x t \dots \dots \dots (1)$$

なる形となり、測定結果より、第2図のように C_t 、 L_t 、 R_t の3定数の並列回路として表現できる場合が多い。



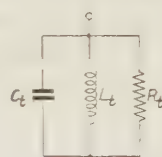
第1図 単位電流を流した場合の変圧器の端子電圧波形の例

第1図はその一例を示す。変圧器の巻線構造によっては、3定数並列を1群とすれば、2群の直列の等価回路になる場合もあるが、基本波のみを重視すれば、第2図の回路に帰する。

外鉄形、内鉄形、各種の電圧、容量の電力用変圧器について実測の結果、 L_t は第3図のように絶縁階級と容量 M_t (MVA) に関係があり、

$$L_t \approx K_t (M_t)^{-n_t} \dots \dots \dots (2)$$

なる実験式が得られ、第3図中の K_t 、 n_t の値は第1表に示される。



第2図 変圧器の接地試験条件の等価回路

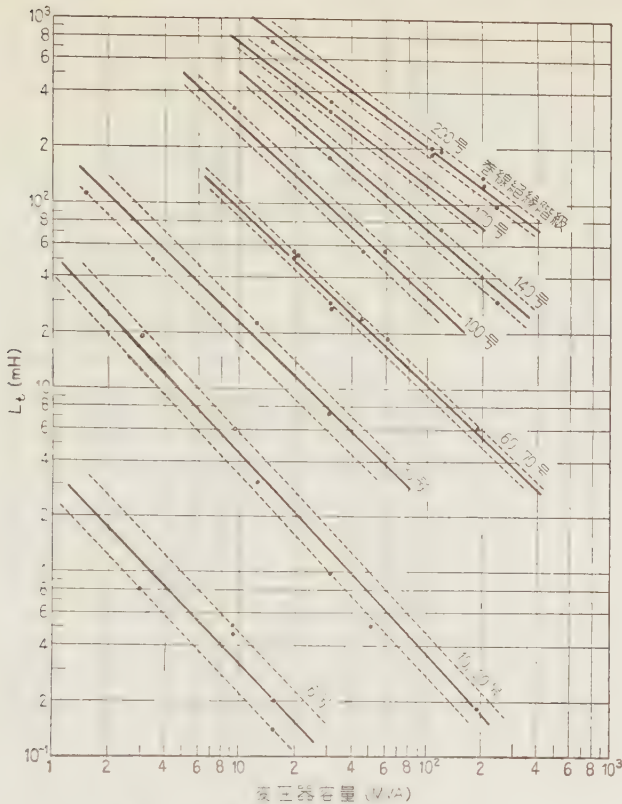
第1表 L_t の実験式の定数

絶縁階級 (号)	5	10, 20	30	60, 70	100	140	170	200
K_t	3.65	52.5	208	800	2,180	4,100	4,450	6,300
n_t	1.07	1.10	1.07	1.04	0.92	0.91	0.81	0.71

星形結線中性点および他端子接地の場合にくらべて、中性点非接地では1.5倍、 Δ 結線では1/2に相当すると考えてよいようである。この値は商用周波数の漏れインダクタンスと比較して、 $\pm 10\%$ 程度の差がある。これは厳密に考えれば、巻線の構造による差異もあると思われるが、測定、計算の誤差もあって明らかでなく、実用上はほぼ等しいとみなしてよいようである。 $C_t \approx 0.002 \sim 0.006 \mu F$ であって、この値は著者の実測範囲では、外鉄形は内鉄形にくらべて、若干大きい傾向を示し、同一巻線構造では容量の大きいほど、電圧の低いほど大きいようであるが、巻線構造、容量、電圧に対する一定の関係は見出しうるほど確然としなかった。 R_t は数十キロオームの値を示し、高圧巻線で

* Calculation of the Applied Voltage Wave Form for Transformer Impulse Test. By H. IWASAKI, Member (Mitsubishi Electric Mfg. Co., Ltd.).

† 三菱電機株式会社伊丹製作所



第 3 図 変圧器の等価インダクタンス L_t と絶縁階級、容量の関係

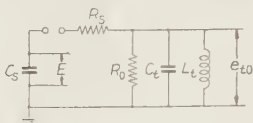
は大きい。以上のような方法によって、統計的に実用上さしつかえない程度等価回路を推定することは必ずしも困難ではないので、一般に印加電圧波形の算定に用いることができる。

3. 印加電圧波形の計算式

変圧器を L_t , C_t , R_t の3定数並列回路として、衝撃電圧発生器を主静電容量 C_s , 直列抵抗 R_s , 放電抵抗 R_G によって構成する。

$$R_0 = R_G R_t / (R_t + R_G)$$

一般に R_0 は 5~6 kΩ 以下であって、 $R_G \approx R_0$ と考えてよいから、第4図の回路となる。充電電圧を E とし、変圧器端子の印加電圧 e_{t0} は演算子式で示すと、



第 4 図 変圧器接地試験の
衝撃電圧試験回路

$$e_{t0}(p) = \frac{E}{C_t R_s} \cdot \frac{p^2}{p^3 + ap^2 + bp + c} H(t) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、

$$p = \frac{d}{dt}, \quad H(t) = \begin{cases} 0, & 0 > t \\ 1, & 0 < t \end{cases}$$

$$a = 1/C_t R_0 + 1/C_t R_s + 1/C_s R_s$$

$$b = 1/C_t C_s R_s R_0 + 1/L_t C_t$$

$$c = 1/L_t C_s C_t R_s$$

$p = c^{1/3} p'$ とおき、時間変換を行い、 $T = c^{1/3} t$, $A_0 = C_t R_s c^{1/3}$, $a_0 = ac^{1/3}$, $b_0 = bc^{-2/3}$ とおくと

$$e_{t0}(p') = \frac{E}{A_0} \cdot \frac{p'^2}{p'^3 + a_0 p'^2 + b_0 p' + 1} \times H(T) \quad \dots\dots\dots (4)$$

となり、 A_0 , a_0 , b_0 によって波形が定まる。 $p'^3 + a_0 p'^2 + b_0 p' + 1 = 0$ の3根を $-\gamma_1$, $-\gamma_2$, $-\gamma_3$ とし

$$q = \frac{a_0^2}{9} - \frac{b_0}{3}, \quad r = \frac{a_0^3}{27} - \frac{a_0 b_0}{6} + \frac{1}{2}$$

とおく

$r^2 - q^3 < 0$ の場合

$$e_{t0} = E(K_1 \varepsilon^{-\gamma_1 c^{1/3} t} + K_2 \varepsilon^{-\gamma_2 c^{1/3} t} + K_3 \varepsilon^{-\gamma_3 c^{1/3} t}) H(t) \quad \dots\dots (5)$$

ただし

$$K_1 = \gamma_1 / A_0 (\gamma_1 - \gamma_2) (\gamma_3 - \gamma_1)$$

$$K_2 = \gamma_2 / A_0 (\gamma_1 - \gamma_2) (\gamma_2 - \gamma_3)$$

$$K_3 = \gamma_3 / A_0 (\gamma_2 - \gamma_3) (\gamma_3 - \gamma_1)$$

$r^2 - q^3 = 0$ の場合

$$e_{t0} = E\{ (K_4 c^{1/3} t + K_5) \varepsilon^{-\gamma_1 c^{1/3} t} - K_5 \varepsilon^{-\gamma_2 c^{1/3} t} \} \times H(t) \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし

$$\gamma_1 = \gamma_2, \quad K_4 = \gamma_1 / A_0 (\gamma_3 - \gamma_1),$$

$$K_5 = \gamma_3 / A_0 (\gamma_3 - \gamma_1)^2$$

$r^2 - q^3 > 0$ の場合

$$e_{t0} = E\{ X_0 \cos(Mc^{1/3} t + \varphi) \varepsilon^{-Qc^{1/3} t} - Y_0 \varepsilon^{-(a_0 - 2Q)C^{1/3} t} \} H(t) \quad \dots\dots\dots (7)$$

ただし

$$Q = a_0/3 + 1/2 \cdot (-r + \sqrt{r^2 - q^3})^{1/3} + 1/2 \cdot (-r - \sqrt{r^2 - q^3})^{1/3}$$

$$M = \frac{\sqrt{3}}{2} (-r + \sqrt{r^2 - q^3})^{1/3}$$

$$-\frac{\sqrt{3}}{2} (-r - \sqrt{r^2 - q^3})^{1/3}$$

$$\gamma_1 = a_0 - 2Q, \gamma_2 = Q - jM, \gamma_3 = Q + jM$$

$$X = \frac{a_0 - 2Q}{2M^2 + 2(a_0 - 3Q)^2}$$

$$Y = \frac{Q(a_0 - 3Q)}{2M^2 + 2M(a_0 - 3Q)^2}$$

$$X_0 = \frac{2}{A_0} \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$Y_0 = \frac{1}{A_0} \cdot \frac{a_0 - 2Q}{(a_0 - 3Q)^2 + M^2}, \varphi = \tan^{-1} Y/X$$

(5) 式は非振動の波形で指数関数項中、 $K_1 \sim K_3$ のうち負の項がほぼ波頭を表わし、これが正で $\gamma_1 \sim \gamma_3$ のうちのもっとも大きいものがほぼ波尾を表わすとみなされる。(7) 式は振動波形となり、指数項が波頭、余弦項は波尾を表わすとみなされる。(6) 式はその臨界を示す。

4. 与えられた回路定数に対する 規約波頭長波尾長

波高値の 30% の点と、90% の点の間の時間を 0.6 にて除した値を規約波頭長 T_f とし、⁽³⁾⁽⁴⁾ この 2 点を結ぶ直線が時間軸と交わる点、規約原点 T_0 から波尾にて、波高値の 50% の点までの時間を規約波尾長 T_t とし、(5)~(7) 式いずれの場合も、印加電圧波形を表示することができる。

変圧器の等価回路定数と、衝撃電圧発生器の回路定数が与えられた場合、図表と簡単な計算で T_f , T_t を

求めることを考える。

まず $A = C_t R_0$, $B = L_t C_t$, $m = R_s/R_0$, $l = C_s/C_t$ とおくと

$$\alpha = 1/A \cdot (1/lm + 1/m + 1)$$

$$b = 1/(lmA^2) + 1/B, c = 1/(lmAB)$$

となり、実用的な範囲を、

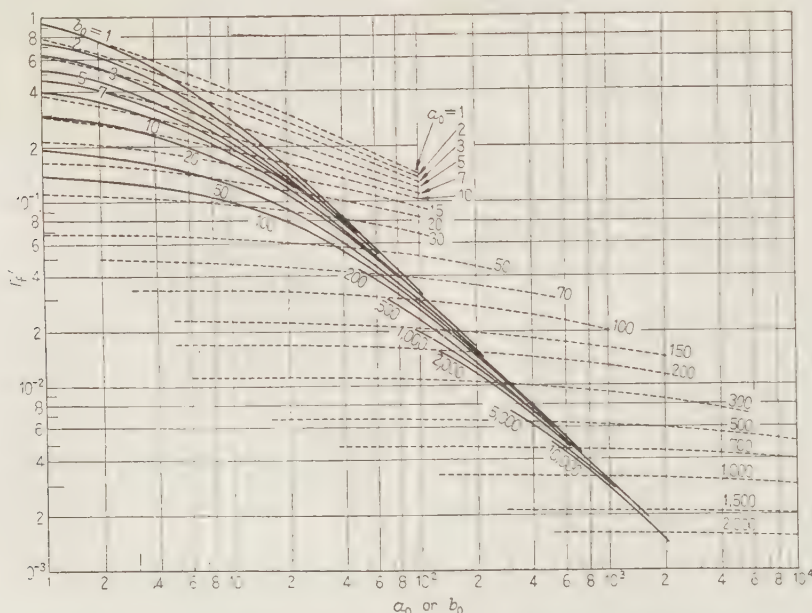
$$10^{-7} \leq A \leq 10^{-4}, 10^{-11} \leq B \leq 3 \times 10^{-9}$$

$$5 \times 10^{-2} \leq m \leq 2 \times 10^{-1}, 1 \leq l \leq 3 \times 10^2$$

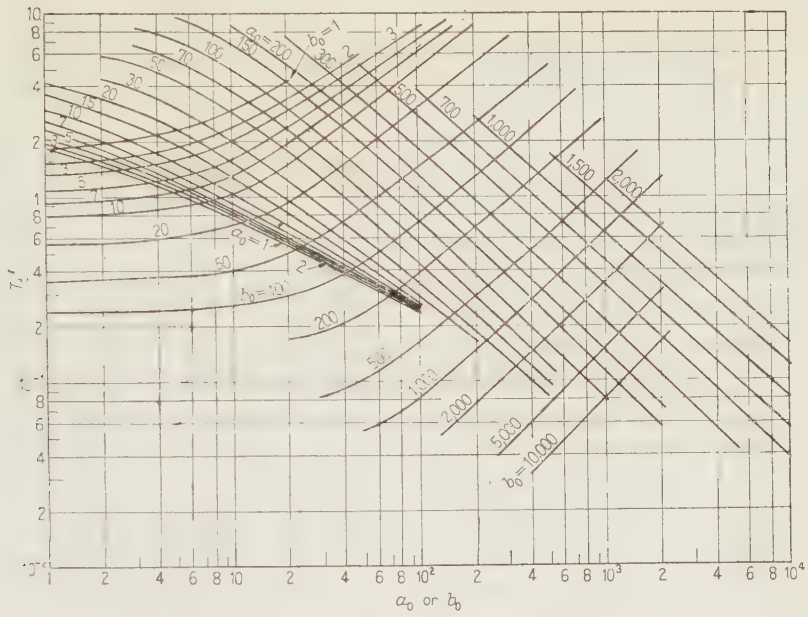
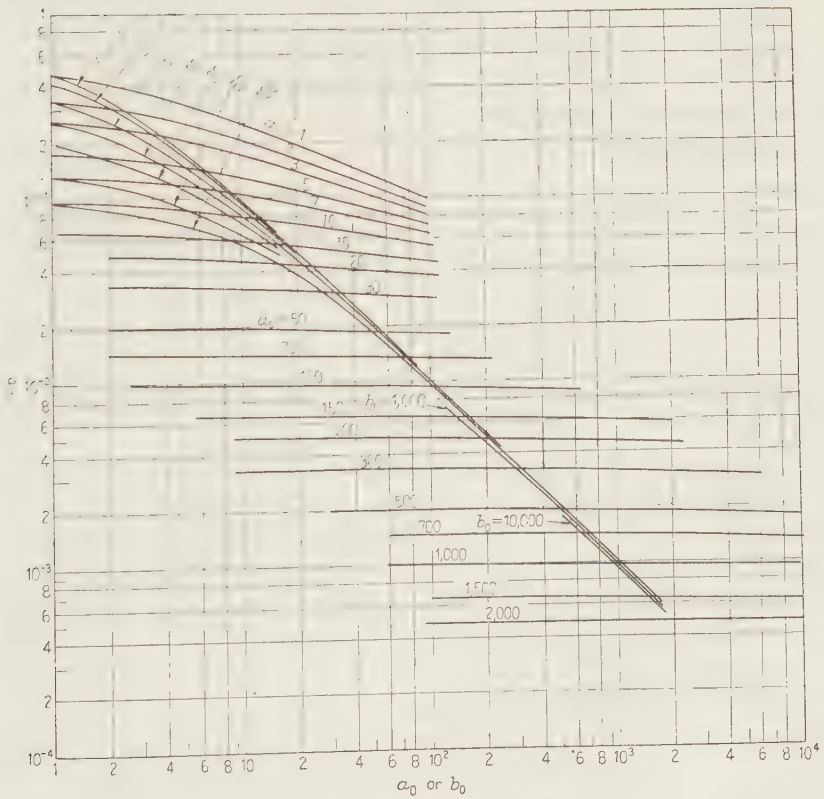
と定め、 $E=1$ として、その組み合わせについて計算を行う。 $(r^2 - q^3)$ の値を求め (5)~(7) 式の適用を選び、各式の係数を算出し、波高値に達する時間の第 1 近似値として、4.6 を負の指数関数項の指数の絶対値で除した時間を用い、その近傍の時間を分割して、反復計算し、 $\Delta e_{10}/\Delta t=0$ となる波高値に達する時間 T_p を求める。 T_p をもとの e_{10} の式に代入して、波高値が得られ、利用率 η は $E=1$ として、波高値で示される。次に T_p より小なる時間で波高値の 30%, 90% に達する時間、 T_{30} , T_{90} を得て、波頭長は、

$$T_f = (T_{90} - T_{30})/0.6$$

によって求められる。 T_p 以上において波高値の 50% に降下する時間 T_{50} は、指数関数あるいは余弦の曲線として第一近似値をおき、反復計算して求められ、波尾長 $T_t = T_{50} - T_0$ が求められる。以上の計算は、IBM-650 計算機を使用して行い、 A を 7 区分、 B を 6 区分、 m を 4 区分、 l を 6 区分して、1,008 ケースについて、 T_f , T_t , η を求めた。



第 5 図 T_f' と a_0 , b_0 の関係

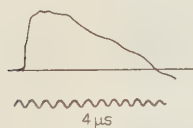
第 6 図 T' と a_0, b_0 の関係第 7 図 U_p と a_0, b_0 の関係

時間軸を T で表わせば、 A_0 , a_0 , b_0 の 3 定数によって、

$$T_f' = c^{1/3} T_f, \quad T_t' = c^{1/3} T_t, \quad U_p = \eta A_0$$

..... (8)

が与えられるので、前述の計算結果より、 T_f' は第 5 図、 T_t' は第 6 図、 U_p は第 7 図にそれぞれ a_0 , b_0 の関数として図表化することができる。したがって、回路定数が与えられた場合は a_0 , b_0 を算出し、図表と内そう法により T_f' , T_t' , U_p を求め、 $c^{1/3}$, A_0 を計算して (8) 式より T_f , T_t , η を算出することができる。第 8 図は 39,000 kVA, 70 号変圧器の例で、 $L_t =$



第 8 図 印加電圧
波形の実例

$= 27.7 \text{ mH}$, $C_t = 0.0042 \mu\text{F}$,
 $C_s = 0.0208 \mu\text{F}$, $R_s = 440 \Omega$,
 $R_G = 2,426 \Omega$, $R_t = 27.5 \text{ k}\Omega$,
実測の $T_f = 2.8 \mu\text{s}$, $T_t =$
 $26 \mu\text{s}$ で、計算結果は $T_f =$
 $2.5 \mu\text{s}$, $T_t = 27.5 \mu\text{s}$ となっ

た。実測値の波頭長の長いのは若干の直列漂遊インダクタンスの影響である。電圧波形に重ね合わされる小さい高周波振動は、変圧器の構造によって若干異なるようであるが、小さく無視しうる程度であるので、実用上構造の差異を考慮しなくてもよいようである。

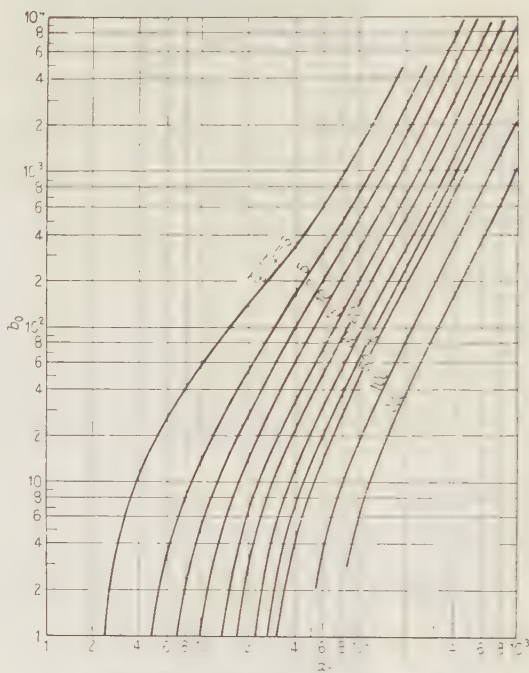
5. 印加電圧波形を与えられた場合の 回路定数の計算

標準電圧波形として、
(1×40) μs が用いられ、
その裕度として、 $T_f =$
 $0.5 \sim 2 \mu\text{s}$, $T_t = 35 \sim 50 \mu\text{s}$
が認められている。⁽³⁾ 変
圧器の場合は波形の調整
が困難であるので、 T_f
は上限 $5 \mu\text{s}$ まで、 T_t は
下限 $20 \mu\text{s}$ までの裕度が
考えられている。⁽⁴⁾ した
がって、供試変圧器が定
まり、その等価回路が与
えられると、衝撃電圧発
生器の回路定数の選定が
必要である。発生器の 1
段の静電容量を C_u , 全
段数 N とし、直並列に
接続して使用を考え、 n_p
を並列個数、 n_s 直を直列
個数、印加電圧 e_p , 1 段

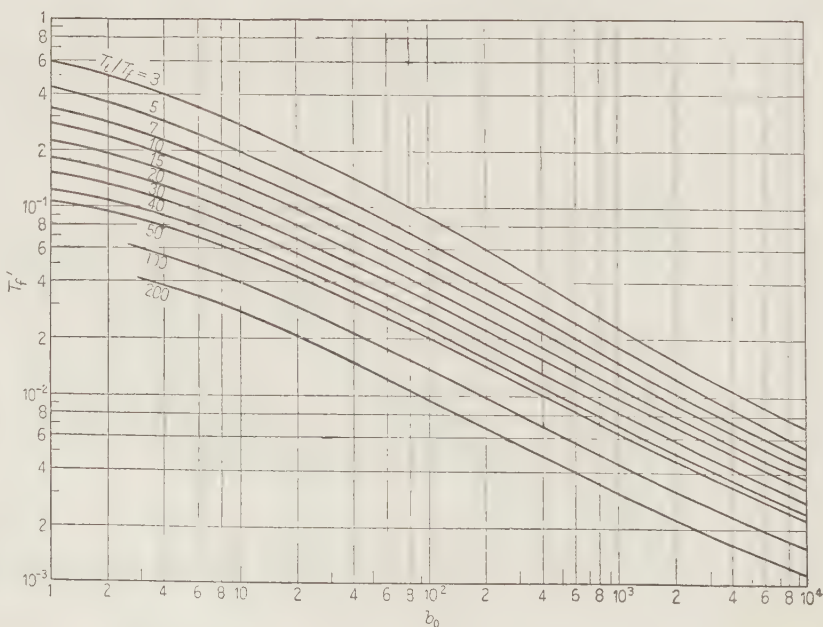
の充電電圧を e_u とすると、

$$C_s = n_p / n_s \cdot C_u, \quad N \geq n_s \cdot n_p, \quad e_p = n_s e_u \eta \dots (9)$$

なる関係があり、 e_p から η , e_u を概算して、(9) 式の条件より C_s をまず定め、 R_s , R_0 で波形の調整を行



第 9 図 T_t/T_f と a_0 , b_0 の関係



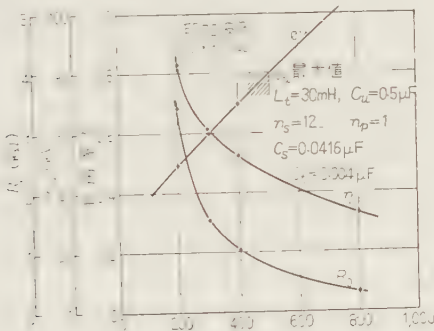
第 10 図 T_t/T_f と T_f' , b_0 の関係

与えられた波形より, T_t/T_f の値を定めると, 第 9 図より a_0 , b_0 の関係が与えられる。(8) 式と, $T_f' = T_f / (C_s R_s L_t C_t)^{1/3}$ より, T_f' と R_s の関係が求まり, R_s の値は L_t , R_0 を無視した R_s , C_t 直列回路と仮定して求めた R_s より大きい値をとるから, 少なくとも $R_s > 0.309 T_f / C_t$ となり, R_s を定めると, 第 10 図より b_0 が与えられ,

$$R_0 = L_t / \{ b_0 (L_t C_t C_s R_s)^{1/3} - C_s R_s \}$$

として R_0 が求まる。 T_t/T_f , b_0 が求まると, 第 9 図より a_0 が定まり, 第 7 図より U_p が求まり, 利用率 η が (8) 式より求められる。

ここで R_s の決定は利用率に関係が深く, (9) 式より e_u の最大充電電圧値を考慮して定める必要がある。第 11 図はその一例を示す。



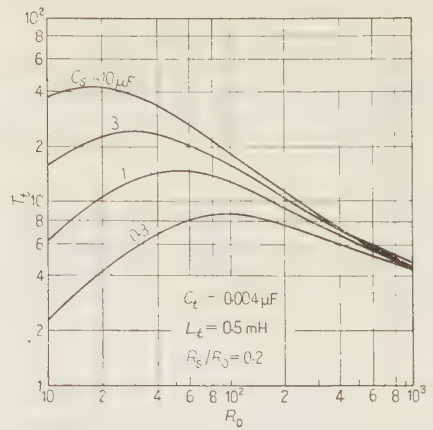
第 11 図 印加電圧波形を一定とし R_s を変えた場合の R_0 , e_u , y の計算例

6. 大容量変圧器の波尾長の保持

大容量変圧器においては, 波尾長の保持が困難な場合が多い。高圧巻線の場合は他巻線の端子と抵抗をそう入して接地することにより, 若干の波尾長を伸ばすことができるが, 一般に低圧巻線の場合は期待できない。

アメリカでは,⁽⁵⁾ 印加巻線の接地側に抵抗をそう入することを認めているが, Aicher 氏⁽⁶⁾ のように, これを非とする意見もある。著者もこの方法を検討したが対地印加電圧波尾長は伸びるが, 巻線間の電圧波形はあまり変わらず, 巻線の分担電圧は減少し, 試験の妥当性に疑問を生ずる。したがって, 衝撃電圧発生器の回路条件を調整して波尾長を伸ばす方法をとるべきであると考え。

(6・1) 波尾長を最大にする条件 変圧器が与えられ, (9) 式によって最大の C_s が定まった場合, 波尾長を最大にする条件を考察する。利用率を考慮して, $R_s/R_0 = 0.2$ とし, 代表値として $C_t = 0.004 \mu\text{F}$ を用い



第 12 図 R_0 と T_t の関係の計算例

て計算を行う。

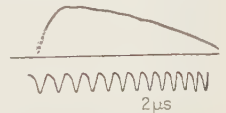
$L_t = 0.5 \text{ mH}$ の場合, R_0 を変えて波尾長の関係を求めると, 第 12 図のように T_t 最大の R_0 を選定することができる。 L_t , C_s を変えて, R_0 と T_t の関係を計算した結果, 対数図表で, はほぼ直線的関係が見出せるので, 近似式として $R_0(\Omega)$ は (10) 式, $T_t(\mu\text{s})$ は (11) 式を用いると便利である。

$$R_0 \approx 70 L_t^{1/2.06} C_s^{-1/2.30} \dots\dots\dots (10)$$

$$T_t \approx 20.8 L_t^{1/2.06} C_s^{1/2.18} \dots\dots\dots (11)$$

L_t : mH, C_s : μF

このような条件で計算した波頭長が所用の値より短い場合は, R_s に直列に数十マイクロヘンリー程度のインダクタンス L_s をそう入することによって標準波頭長の裕度内に入れる。波頭長はそれだけ長くなるが, 波尾長にくらべて小さいから, 実用上はさしつか



第 13 図 低圧大容量変圧器の波尾長最大にする条件で行った実例

えない。第 13 図は実施例であって, 変圧器は, 単相 50 MVA, 13.2 kV, 外鉄形, $L_t = 0.514 \text{ mH}$, $C_t = 0.0066 \mu\text{F}$, $R_t = 1,230 \Omega$, $T_t = 20 \mu\text{s}$ として, (10), (11) 式より求めた値にほぼ等しい。 $R_0 = 40 \Omega$, $C_s = 2 \mu\text{F}$, $L_s = 50 \mu\text{H}$ によって, $(2 \times 19) \mu\text{s}$ を得た。

(6・2) 大容量変圧器の容量と波尾長 C_s の関係 変圧器の容量, 絶縁階級(試験電圧)が与えられると, (2) 式より L_t の値が推定されるので, C_t を代表値 $0.004 \mu\text{F}$ として, T_t を定めると, 必要なる最小の衝撃電圧発生器容量 C_s が (11) 式より求まり, (9) 式を条件として考慮すると, 所用の衝撃電圧発生器の構成を求めることができる。また, 現用の衝撃電圧発生

第 2 表 $N=40$ として求めた 1 段の静電容量と波尾長、絶縁階級の関係

絶縁階級 (号)	T_f (μs)	必要なる C_u (μF) の値		
		100 MVA	200 MVA	300 MVA
20	10	0.14	0.30	0.47
	15	0.34	0.74	1.20
	20	0.61	1.31	3.10
70	20	0.13	0.26	0.38
	30	0.30	0.59	0.88
	40	0.59	1.10	1.70
140	20	0.052	0.089	0.12
	30	0.12	0.20	0.28
	40	0.22	0.38	0.53
200	20	0.037	0.053	0.074
	30	0.085	0.15	0.20
	40	0.16	0.27	0.36

器による 可能なる 波尾長の 限界も 推定される。いま $\eta=0.8$ 、実用的に $e_u=70\sim80\text{ kV}$ 、 $N=40$ と仮定して、 T_f 、 C_u の関係を計算すると、第 2 表に示される。波尾長保持の困難は、大容量変圧器の低圧巻線にあることがわかる。

7. む す び

従来の衝撃電圧波形の実用的な算定は、二次の演算

式の形にとどまったが、変圧器の印加電圧波形のように、三次の演算式の形の算定を可能ならしめる図表を与えた。変圧器を含む衝撃電圧発生器の回路は必ずしも、著者の計算を行った回路と厳密に一致するとは考えてないが、少なくとも回路の構成にあたって、等価性に充分留意すれば、実用に供しうるものと思う。この結果が、最近のようにますます大容量化する変圧器の接地衝撃電圧試験に際して、衝撃電圧発生器の構成、印加電圧波形の裕度の決定に参考となれば幸である。本文の問題の提起と検討にご教示をいただいた試験電圧絶縁試験法小委員会、法貴博士、上之園博士はじめ委員各位に謝意を表わし、IBM-650 による計算のご援助をいただいた三菱電機木村博士、山田氏、適切な示唆を与えられた馬場博士、林氏、測定と整理に協力された永谷、中原氏に感謝する。

(昭和 35 年 4 月 19 日受付)

文 献

- (1) 法貴：電試研 No. 471 (昭 19)
- (2) 林・岩本：電気評論 38, 7, 25 (昭 25)
- (3) JEC-110 (1944)
- (4) 試験電圧絶縁試験法小委員会資料 JEC-110 改訂案 (昭 33-9)
- (5) ASA. C-57 (1948)
- (6) L. C. Aicher: AIEE Tech. Paper No. 52-76 (1952)

UDC 621.311.1.015.3: 621.3.017.1

電力系統開閉サージに対する系統損の影響*

資料・論文

35-87

正員 馬 場 準 一†

正員 森 本 英 男†

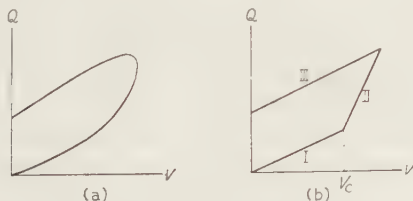
ま え が き

最近、400 kV 送電というような超高压送電がわが国でも活発に議論されるようになり、電力系統機器の絶縁問題は以前にも増して重要となってきた。電力系統機器の絶縁問題を明らかにするためには、系統じょう乱に対する異常電圧・電流の倍数をはっきりとつかんでおくことが大切である。そのためには、異常電圧・電流の発生機構の研究と並行して、コロナあるいは零相損（大地帰路）のような系統の損失の異常電圧・電流の大きさ、波形に対する影響の研究もおそろかにできない。前者については数多くの研究が発表されているが、後者に関しては、ほとんど発表された資料がないように思う。

本論文においては、系統損としてもっとも代表的なコロナ損および零相損を取り上げ、その数学的モデルを導き、モデル系統につき、異常電圧・電流に対するこれら損失の影響を解析、考察した結果について述べる。

1. コロナの数学的モデル

導線のコロナ放電現象については、開閉サージで対象となるような波形に対して、電荷 (Q)-電圧 (V) 特性に関する麻生氏の有益な報告⁽¹⁾⁽²⁾がある。これによれば、波尾が数ミリ秒以下では、波尾コロナが無視でき、その V-Q 特性は第1図 (a) のようになり、これを数学的に処理しやすいように理想化すれば、第1図 (b) のように3本の折線によって近似すること



第1図 コロナの V-Q 特性

* The Transmission Line Switching Surges as Modified by System Losses. By J. BABA, Member & H. MORIMOTO, Member (Mitsubishi Electric Mfg. Co., Ltd.).

† 三菱電機株式会社研究所電気第1研究室、電力系統、機器の解析の研究担当

ができる。この折線で、IIの部分がコロナの発生している領域で、電荷の増分 ΔQ と電圧の増分 ΔV とは

$$\Delta Q = C_K \cdot \Delta V \dots\dots\dots (1)$$

によって表示され、 C_K の大なるほど、放出電荷は増してコロナ損は増大する。

I, IIIの部分はコロナの発生していない領域で、ここでは次の式がなりたつ。

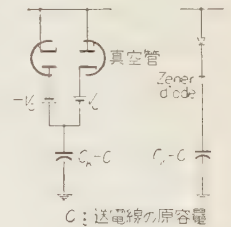
$$\Delta Q = C \Delta V \dots\dots\dots (2)$$

C は導線の原容量に相当する。また第1図 (b) で V_0 はコロナ開始電圧を表わす。

2. コロナアナログ

波尾コロナが問題とならないような場合には、(1)式および (2)式の示すところ

によって、コロナは第2図 (a), (b) のようなダイオード、直流電源、コンデンサの組み合わせよりなる回路により表示することができる。ダイオードとしては、



真空管または Zener diode を用いることができ、特に

第2図 コロナアナログ

Zener diode を用いるときは、直流電源を省略しえて便利である。

第2図のコロナアナログでは、ダイオードの順方向抵抗あるいは直流電源の内部抵抗の存在するために、コロナ放電の V-Q 特性は (1) 式で与えられずに

$$\Delta Q = \left\{ C + \frac{(C_K - C)}{1 + S(C_K - C)R_K} \right\} \Delta V \dots\dots (3)$$

R_K : コロナアナログ回路の抵抗分, S : ラプラス変換における演算子

で与えられる。

R_K がどの程度まで許容できるかは、 ΔV の波形によるのであって、付録 (1) 示すように、コロナアナログの時定数 $(C_K - C)R_K$ が ΔV の周期 T_f のほぼ 1/30 以下であれば、 ΔV が波高値に達したときのコロナ放電による放出電荷 (ΔQ) の誤差は 3% 以下に収まる。たとえば、開閉サージの動揺周波数が 500 c/s

であれば、 $(C_K - C)R_K < \frac{2,000}{30} = 67 \mu s$ となる。

3. モデル系統における解析結果

前章において導いたコロナアナログを用い、第3図



第3図 モデル系統

に示すようなモデル系統について、その無負荷線路の開閉に伴

なう再点弧異常電圧に対するコロナ損の影響を調べた結果について述べる。

再点弧条件は下記のとおりである。

(i) a 相は Normal current zero でしゃ断

(ii) b, c 相は未しゃ断

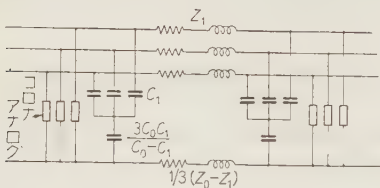
(iii) 再点弧による異常電圧が最大となるような位相で、再点弧が発生する。(位相はアナログ回路の同期スイッチにて調整)

(iv) 再点弧回数は1回

モデル系統の定数は第1表のとおりである。解析には過渡現象解析機を用い、系統は三相四線式回路に組み、送電線路は第4図に示すようにπ回路で表示し、その1 section のこう長は 20 km とした。

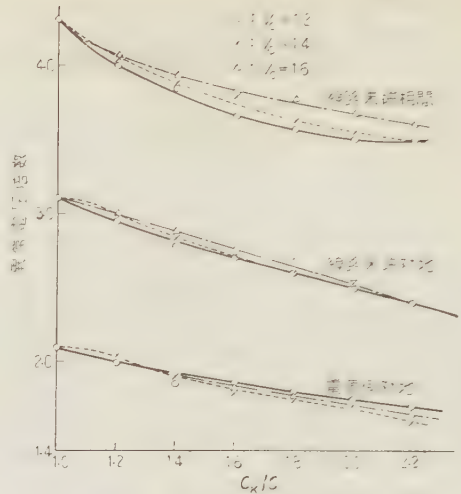
第1表 モデル系統定数

線路定数	正相インダクタンス	1.15 mH/km
	正相キャパシタンス	0.01 μF/km
	正相抵抗	0.048 Ω/km
	零相インダクタンス	3.45 mH/km
	零相キャパシタンス	0.005 μF/km
電 圧	275 kV	中性点直接接地
	SIL 226 MW	
回 線 数	1 回線	
こ う 長	180 km	
発電所出口における短絡容量		5×SIL
発電所出口における $X_0/X_1=0.5$		

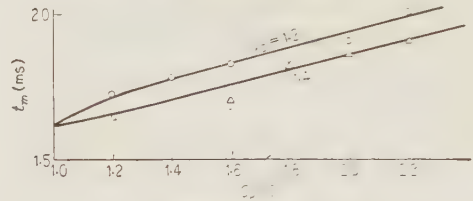


第4図 送電線路のアナログ

電源側対地電圧、線路末端対地および相間電圧の大きさおよび波形（再点弧瞬時より波高値にいたる時間 t_m ）におよぼすコロナ損の影響を、コロナ放電のパラメータ C_K および V_0 を種々に変化して計算した結果は、第5図、第6図に示すとおりであり、 C_K の増大とともに、異常電圧の値は低減し、波形もゆるやかに



第5図 異常電圧値数と C_K/C



(線路末端対地電圧)

第6図 異常電圧波形と C_K/C

なってくるのがうかがわれる。コロナ開始電圧 V_0 の影響は少ない。ここに、コロナ開始電圧 V_0 は常規対地電圧を 1.0 p.u. として表示した。

いま、過渡振動の行過ぎ量を（異常電圧の過渡最大値ー常規運転時の電圧波高値）で定義すれば、コロナ損による異常電圧の低減効果 γ は

$$\gamma = \frac{\text{コロナ損のあるときの行過ぎ量}}{\text{コロナ損のないときの行過ぎ量}} \dots (4)$$

で表わすことができよう。また、波形のゆるやかになりぐあい Δ は

$$\Delta = \frac{\text{コロナ損のあるときの } t_m}{\text{コロナ損のないときの } t_m} \dots (5)$$

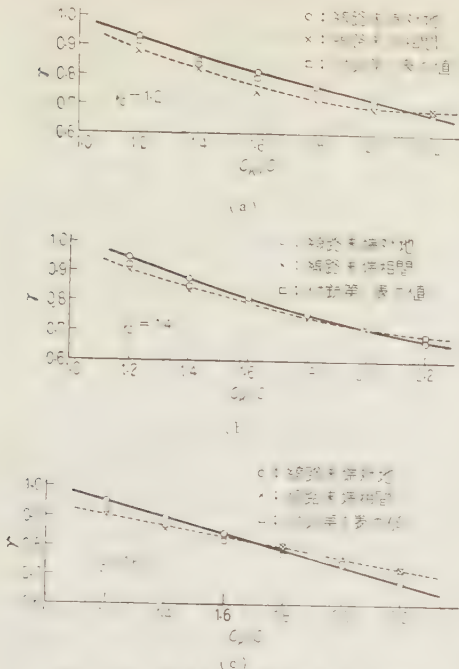
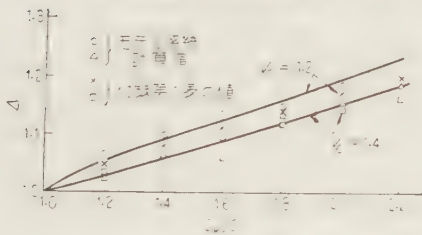
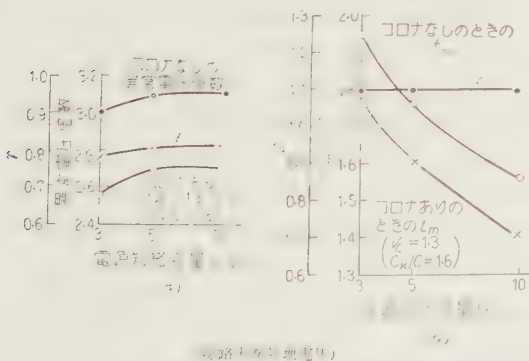
で表わすことができよう。

第5図、第6図の結果から γ 、 Δ を求めると第7図、第8図のとおりである。また、送電端電源の短絡容量を二三変えて解析した結果は、送電端の短絡容量の値は γ 、 Δ にはほとんど影響がないようである。（第9図参照）

代表的オシログラムを第10図に示した。

4. 解析結果に対する考察

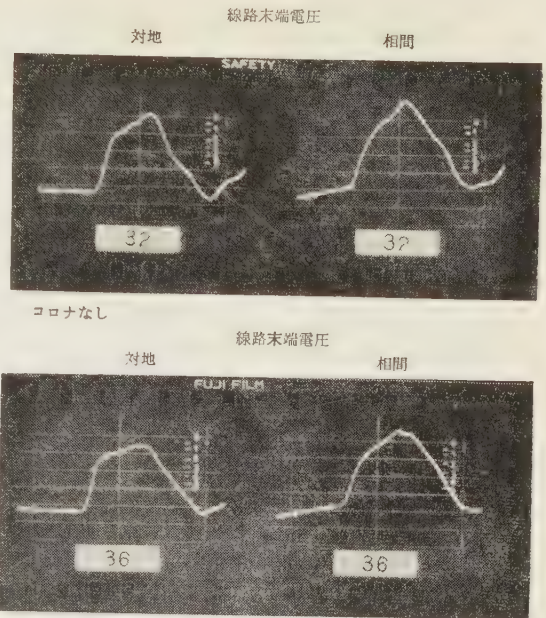
無負荷線路の再点弧による異常電圧は、付第3図の

第 7 図 異常電圧減衰率 γ と C_K/C 第 8 図 波形のゆるやかさ Δ と C_K/C 

第 9 図 電源短絡容量の影響

ような簡単な回路によって、その大略をうかがうことができるであろう。この回路につき、コロナ放電のパラメータ C_K , V_0 の影響を調べ、図 7 の計算結果を考察してみよう。

付第 3 図の回路において、コンデンサの端子電圧

 $V_0 = 1.4$ $C_K/C = 1.8$

Time marker is 1 ms

第 10 図 代表的オシログラム

が、再点弧した相の線路末端の電圧に相当するわけであるが、 γ について、過渡振動の低減効果 γ 、波形のゆるやかになりぐあい Δ を C_K , V_0 の関数として計算した結果を示せば、付第 1 表のとおりである。〔付録 (2) 参照〕

前章の解析結果と付第 1 表とを比較対照することによって、両者の γ , Δ がよく一致していることがわかる。(第 7 図, 第 8 図に付第 1 表の値を、比較対照を明らかにするために記入してある) また、コロナ開始電圧 V_0 の影響の少ないことも示されている。

5. 零 相 損

送電線の零相定数が周波数によって変化することに関しては、従来かなりの報告がなされている。⁽³⁾⁽⁴⁾ これらの報告からは、(i) 零相回路の抵抗は周波数とともに増大し、(ii) 零相回路のインダクタンスは、逆に周波数とともに減少することがわかっている。

零相定数の周波数依存の度合は、送電線の経過地の導電率の分布に左右されるが、ここでは、大地の固有導電率を一定と考えて算出された下記の理論式⁽⁵⁾を用いて零相損の影響を論じた。

大地の固有導電率を一定と考えれば、送電線の零相インピーダンス Z_0 は

$$Z_0 = R_0 + 4\pi \times 10^{-4} f \left\{ \frac{3}{4} \pi + j \left\{ \frac{1}{4} \right. \right.$$

$$+\log_e \left\{ \frac{(1.122\delta)^3}{s^2 r} \right\} \} \quad (\Omega/\text{km}, \dots\dots\dots (6))$$

f : 周波数(c/s), s : 等価線間距離(m), r : 導体半径(m), $\delta=1/\sqrt{\pi f \mu \sigma}$, μ : 大地の導磁率($4\pi \times 10^{-7}$), σ : 大地の導電率(Ω/m), R_c : 導体抵抗(Ω/km)

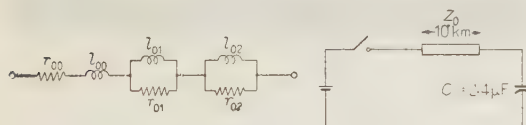
(6) 式で表わされるような周波数特性をもった素子を含む回路の過渡現象の計算は、回路の周波数特性 $F(j\omega)=R(\omega)+jI(\omega)$ を求め、フーリエ積分

$$F(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{R(\omega)}{\omega} \sin t\omega d\omega$$

または

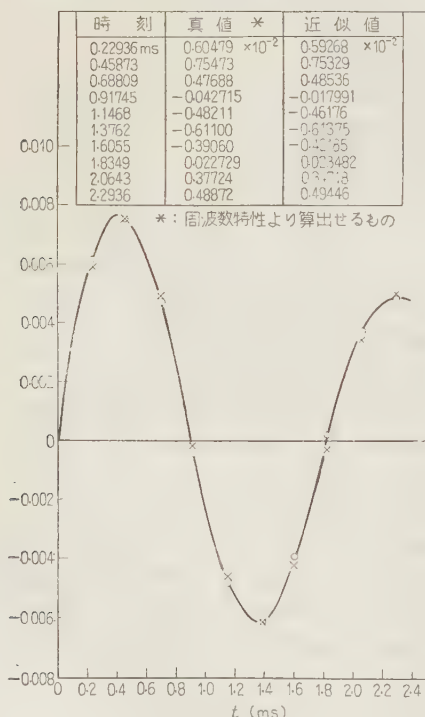
$$\frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{I(\omega)}{\omega} \cos t\omega d\omega + F(0) \dots\dots\dots (7)$$

によって行うのがオースドックスな方法であろう。(6) しかし、電力回路のように比較的多くの固有周波数を

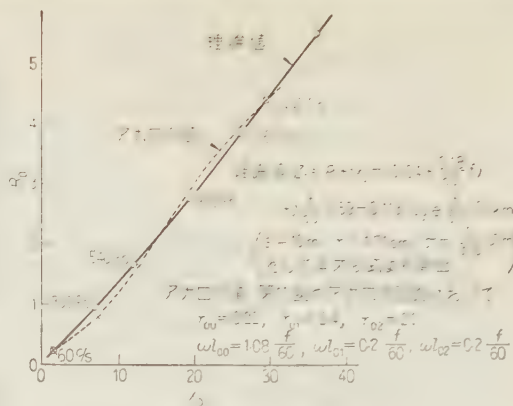


第 11 図 Z_0 のアナログ回路

第 12 図 Z_0 と C との直列回路



第 13 図 アナログ回路の精度



第 14 図 Z_0 の周波数特性

有し、かつ、回路損の少ないものに対しては、比較的大きな系統の計算にこの方法を適用することはやや不得策と考え、簡単な回路によって、周波数特性を簡便するものを提案したい。

電力回路のように損失の少ない回路では、(7) 式より見るように、すべての周波数特性にわたってその特性を忠実に模擬する必要はなく、固有周波数に等しい周波数特性を有すればよい。このような考え方にしたがえば、零相回路は普通第 11 図のように、 R , L の直列回路 1 個と R , L の並列回路 2 個によって充分正確に表示することができる。実際、第 12 図の回路について、過渡電流 i を計算した結果を示せば、第 13 図のようにきわめて良好な結果が得られる。なお、このときのアナログ回路の周波数特性を第 14 図に示してある。

Z_0 のアナログ回路の各定数は、解析対象とする系の固有周波数を f_N とした場合、 $0 \sim 3f_N$ の範囲ではほぼ理論値とアナログ値とが等しくなるように定める。多くの場合 $f=60$ c/s, f_N , $3f_N$ で理論値とアナログ値とが等しくなるように選べば充分のようである。ただし、さらに正確を期したい場合、または計算を自動的に行う場合には、周波数 $0 \sim 3f_N$ の範囲において、理論値 R_0+jX_0 とアナログ値 R_a+jX_a の差の絶対値の二乗の積分値

$$I = \int_0^{3f_N} \{ (R_a - R_0)^2 + (X_a - X_0)^2 \} df \dots (8)$$

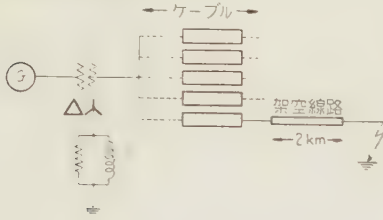
を最小にするように、自動最適化の方法⁽⁶⁾を用いればよい。

6. モデル系統における解析結果

零相回路定数が周波数特性を持つことが、電力系統の過渡動揺に対してどのような影響を有するかを、ケ

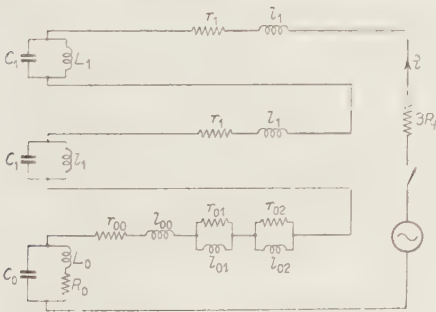
ケーブル系統の一線地絡時の過渡零相電流を対象として調べた結果について述べる。

解析の対象とした系統は第 15 図のようなもので、系統定数は第 2 表のとおりである。



第 15 図 モデル系統
第 2 表 モデル系統定数

ケーブル定数	集中容量とみなし	
	正相キャパシタンス	0.5 $\mu\text{F}/\text{km}$
	零相キャパシタンス	"
架空線定数	正相インダクタンス	1.3 mH/km
	正相抵抗	0.16 Ω/km
	零相インピーダンス Z_0	
	$Z_0 = 0.16 + 0.18 \cdot \frac{f}{60} + j \left(1.78 - 0.113 \log_e \frac{f}{60} \right)$	(Ω/km)
	f : 周波数 (c/s)	
架空こう長	2 km	
ケーブルこう長	50 km	
系統の背後電力	400 MVA, $X_0/X_1 = 0.5$	
系統電圧	66 kV	

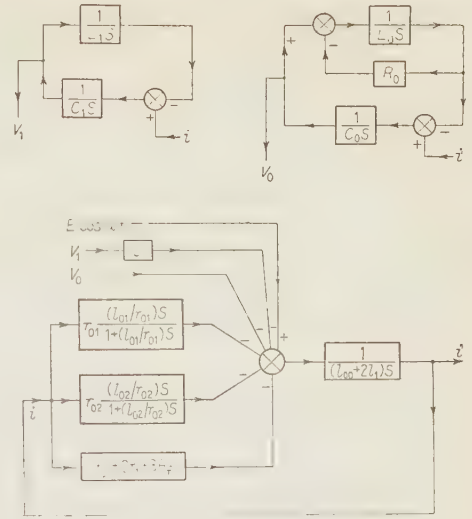


第 16 図 一線地絡時の等価回路

1 線地絡時の等価回路は第 16 図のようになり、⁽⁷⁾ 過渡零相電流は第 17 図に示す構成図にしたがって、電子管式アナログ計算機で計算した。

零相回路定数の値に 60 c/s 値を用いたものと、周波数特性を考慮したものとを比較すれば、第 3 表のとおりである。周波数特性を考慮したときは、過渡動揺の周波数が 500 c/s 程度であるため、零相損が増加して、過渡動揺が早期に減衰していることがわかる。

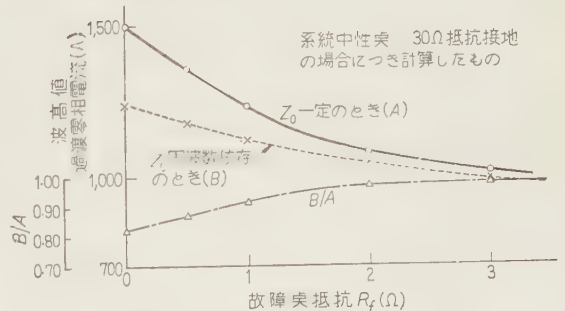
第 3 表よりわかるように、解析対象としたモデル系



第 17 図 構成図
第 3 表 過渡零相電流比較

系統中性点	故障点 抵抗 (Ω)	零相電流過渡最大値		B/A
		Z_0 一定とし たとき	Z_0 周波数 依存 [C] [B]	
直接接地	0	2,073	1,850	0.89
抵抗 (30Ω) 接地	"	1,500	1,240	0.83
PC 接地	"	1,363	1,238	0.90
PC (並列抵抗 100Ω) 接地	"	1,382	1,276	0.92
抵抗 (30Ω) 接地	0.5	1,362	1,180	0.87
"	1.0	1,230	1,123	0.91
"	2.0	1,075	1,036	0.96
"	3.0	1,008	979	0.97

故障は電圧波の波高値で発生



第 18 図 故障点抵抗の影響

統では零相定数に 60 c/s 値を用いたときと周波数特性を考慮したものとは、零相過渡電流の最大値においては 10% 前後の差がある。また、故障点の抵抗の増大に伴ない、両者の差は無視できるようになる。(第 18 図参照)

代表的オシログラムを第 19 図に示した。

7. 結 論

(1) 波頭における損失のみが問題となる場合のコ

コロナ放電の数学的モデルをつくった。

(2) このモデルによって、ダイオード、直流電源、コンデンサよりなるコロナアナログを導いた。

(3) このコロナアナログを用いて、モデル系統につきその無負荷線路の開閉に伴う再点弧異常電圧に対するコロナ損の影響を解析し、コロナ損によって異常電圧の大きさは低減し、その波形はなめらかになることを示し、簡単な回路を用いて理論的考察を行った。

(4) 零相回路の周波数特性を簡単な R 、 L 回路の組み合わせで模擬できることを示した。

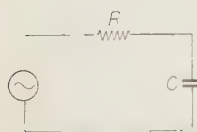
(5) 零相損が周波数とともに増大するために、過渡動揺が早期に減衰することを、ケーブル系統の一線地絡時の過渡零相電流について示した。

本研究に関し有益なるご助言とご支援をいただいた伊丹製作所岩崎係長ならびに計算機運用の労をとられた芝滝氏に謝意を表する。(昭和 35 年 1 月 14 日受付, 同 6 月 6 日再受付)

文 献

- (1) 森生：電学誌 77, 1467 (昭 32)
- (2) 森生：昭 34 年連大 576
- (3) 福田・室岡・関根・芥沢：昭 31 東京支部大会 119
- (4) S.S. Rokotyan & B.P. Lebedev: Proc. Instn Elect. Eng. 104 (1957)
- (5) Rothe: An Introduction to Power System Analysis(Book) p 149
- (6) P.E. Lego & T.W. Sze: A.I.E.E. Tech. Paper 58-1291
- (7) 馬場・森・森本・芝滝：三菱電機 32, No.10 (昭 33)
- (8) 福永・芝滝：自動最適化の一方式, 電学誌に掲載予定

付 録



付第 1 図

(1) コロナアナログの時定数 本文第2図のコロナアナログで、ダイオードが導通時の等価回路は付第1図のとおりであり、この回路では電源からの放出電荷 Q は

$$Q = \frac{CE}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \{ e^{-t/T} \sin \phi + \sin(\omega t - \phi) \}$$

$$T = CR, \tan^{-1} \phi = \omega T$$

で与えられるから、電源電圧が波高値に達したときの放出電荷は、

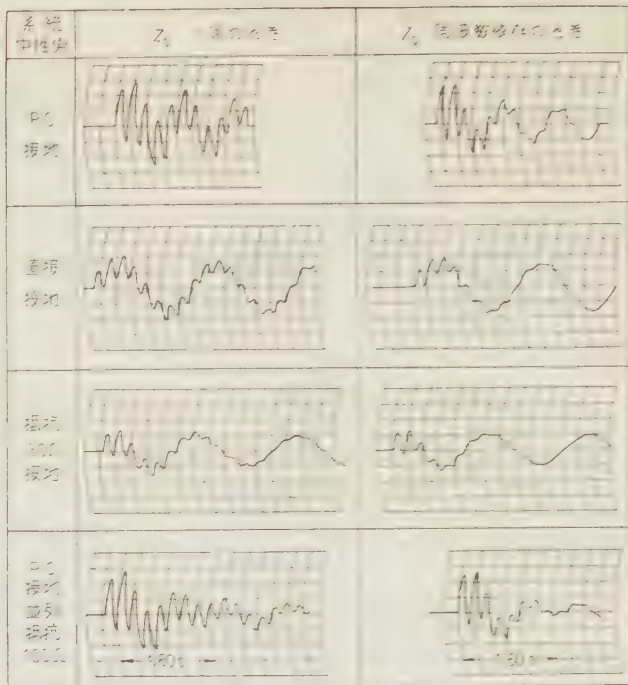


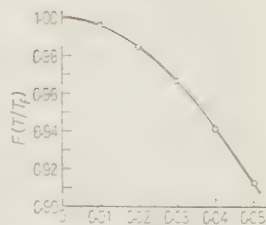
図 19 コロナ放電の波形比較

$$Q = CE \cdot F\left(\frac{T}{T_f}\right)$$

$$F\left(\frac{T}{T_f}\right) = \frac{\left(2\pi \frac{T}{T_f}\right)}{1 + \left(2\pi \frac{T}{T_f}\right)^2} e^{-T/T_f} \cdot T_f/T = \frac{1}{1 + \left(2\pi \frac{T}{T_f}\right)^2}$$

$$T_f = 2\pi/\omega$$

となる。コロナ放電の時定数 T があるために $F(T/T_f) < 1$ となり、放出電荷量に誤差を生ずることになる。付第2図に $F(T/T_f)$ を図示してある。

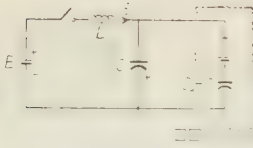


(2) コロナ損による異常電圧低減の説明のモデル回路 付第3図に示す回路において、適当な時間およびインピーダンスのスケールの変換を行えば、 $L=1$ p.u., $C=1.0$ p.u. とおくことができる。電源電圧の大きさを 1.0 p.u. とすれば、コロナ放電開始前のコンデンサの端子電圧 v は

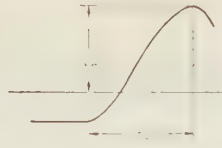
$$\frac{d^2 v}{dt^2} + v = 1.0$$

で与えられる。

再点弧直前にコンデンサに残留した電圧を -1.0 p.u. とすれば、 $v = -1.0 \cos t$ となる。



付第 3 図
再点弧回路のモデル



付第 4 図
 V_m, t_m の定義

$v > v_c$ となればコロナ放電が開始する。このときの

回路の方程式は下記ようになる。

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad \Delta q = \Delta v + (c_k - 1)(\Delta v) = c_k \cdot \Delta v$$

したがって

$$c_k \frac{d^2 v}{dt^2} + v = 1.0$$

この微分方程式の初期条件は、コロナ放電開始直前の値で定まる。すなわち、初期条件は

$$v = v_c, \quad c_k \frac{dv}{dt} = 2 \sin t_c$$

$$\text{ただし } 1 - 2 \cos t_c = v_c \rightarrow t_c = \frac{\pi}{2} + \sin^{-1} \left(\frac{v_c - 1}{2} \right)$$

これらの初期条件のもとでは

$$v = 1 + a \cos t / \sqrt{c_k} + b \sin t / \sqrt{c_k}$$

$$\text{ただし } a = v_c - 1, \quad b = \frac{1}{\sqrt{c_k}} \sqrt{4 - a^2}$$

この式は、時刻 $t_m' = \sqrt{c_k} \tan^{-1} \frac{b}{a}$ で最大となり、その値は

$$v_m = 1 + \sqrt{a^2 + b^2}$$

また、 v の最大になる時刻 t_m を再点弧の瞬間から測れば

$$t_m = t_c + t_m' = \frac{\pi}{2} + \sin^{-1} \left(\frac{a}{2} \right) + \sqrt{c_k} \tan^{-1} \frac{b}{a}$$

で与えられる。

コロナ放電のないときの過渡電圧の最大値およびその時刻はそれぞれ 3 および π であり、かつ定常値は 1.0 であるから、本文に定義した過渡振動の低減効果 γ および波形のゆるやかになりぐあい Δ は、それぞれ次式で表わされる。

$$\gamma = \frac{v_m - 1}{2}, \quad \Delta = \frac{t_m}{\pi}$$

上式で計算される γ, Δ を C_k および V_c の関数として表にしたものを付第 1 表に示してある。

付 第 1 表

V_c	1.0		1.1		1.2		1.3		1.4		1.5	
	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ
1.1	1.0244	0.95345	1.0228	0.9536	1.0212	0.95395	1.0197	0.95455	1.0181	0.95535	1.0165	0.95645
1.2	1.0477	0.91285	1.0445	0.9131	1.0414	0.9138	1.0382	0.9149	1.0351	0.91655	1.0320	0.91855
1.3	1.0700	0.87705	1.0653	0.8774	1.0606	0.87835	1.0558	0.8800	1.0512	0.8823	1.0466	0.88525
1.4	1.0915	0.84515	1.0852	0.8456	1.0789	0.84685	1.0726	0.84895	1.0664	0.8519	1.0604	0.85565
1.5	1.1123	0.81650	1.1044	0.8170	1.0965	0.81855	1.0887	0.8211	1.0810	0.8246	1.0734	0.82915
1.6	1.1324	0.79055	1.1229	0.79115	1.1134	0.79295	1.1040	0.7959	1.0948	0.8000	1.0858	0.80525
1.7	1.1518	0.76695	1.1408	0.76765	1.1297	0.76965	1.1188	0.7730	1.1081	0.77765	1.0976	0.78355
1.8	1.1707	0.74535	1.1581	0.7461	1.1455	0.74835	1.1330	0.75205	1.1208	0.7572	1.1088	0.76375
1.9	1.1891	0.72550	1.1749	0.7263	1.1607	0.72875	1.1467	0.7328	1.1330	0.7384	1.1196	0.7456
2.0	1.2069	0.70710	1.1912	0.7080	1.1754	0.71065	1.1599	0.71500	1.1447	0.7211	1.1299	0.72885
2.1	1.2244	0.69005	1.2071	0.6910	1.1897	0.69385	1.1727	0.69855	1.1560	0.7051	1.1398	0.7134
2.2	1.2414	0.67420	1.2225	0.6752	1.2036	0.67825	1.1850	0.68325	1.1669	0.6902	1.1494	0.69905
2.3	1.2581	0.65940	1.2376	0.660454	1.2172	0.65365	1.1970	0.66895	1.1775	0.6763	1.1585	0.68565
2.4	1.2744	0.64550	1.2524	0.64665	1.2303	0.6500	1.2087	0.6556	1.1877	0.66335	1.1674	0.67315
2.5	1.2903	0.63245	1.2667	0.63365	1.2431	0.6372	1.2200	0.64305	1.1975	0.65115	1.1759	0.66145
2.6	1.3060	0.62015	1.2808	0.62140	1.2556	0.6251	1.2310	0.63125	1.2071	0.6397	1.1842	0.65045
2.7	1.3213	0.60860	1.2946	0.6099	1.2679	0.61475	1.2417	0.6201	1.2164	0.62895	1.1921	0.6401
2.8	1.3364	0.59760	1.3081	0.59895	1.2798	0.60295	1.2522	0.6096	1.2254	0.61875	1.1999	0.63035
2.9	1.3512	0.58720	1.3213	0.5885	1.2915	0.59275	1.2623	0.59965	1.2342	0.60915	1.2073	0.6211
3.0	1.3657	0.57735	1.3343	0.5788	1.3029	0.5831	1.2723	0.5902	1.2428	0.60000	1.2146	0.61235

V_c	1.6		1.7		1.8		1.9		2.0	
	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ
1.1	1.0150	0.95775	1.0135	0.9593	1.0121	0.96105	1.0107	0.96305	1.0093	0.9653
1.2	1.0290	0.92105	1.0261	0.924	1.0232	0.92735	1.0204	0.93115	1.0177	0.9354
1.3	1.0421	0.8888	1.0377	0.89305	1.0335	0.89785	1.0294	0.9033	1.0255	0.90935
1.4	1.0544	0.86025	1.0487	0.8656	1.0431	0.8718	1.0377	0.8787	1.0326	0.8864
1.5	1.0660	0.83465	1.0589	0.84115	1.0520	0.84855	1.0454	0.85685	1.0391	0.86605
1.6	1.0770	0.81165	1.0685	0.8191	1.0604	0.82765	1.0526	0.8372	1.0452	0.8478
1.7	1.0874	0.79075	1.0776	0.79915	1.0682	0.8088	1.0592	0.8195	1.0508	0.83135
1.8	1.0973	0.7717	1.0862	0.78105	1.0756	0.7916	1.0655	0.83045	1.0560	0.8165
1.9	1.1067	0.7543	1.0944	0.7644	1.0826	0.77595	1.0714	0.7888	1.0609	0.80295
2.0	1.1157	0.73825	1.1021	0.74915	1.0892	0.7616	1.0770	0.7754	1.0655	0.79055
2.1	1.1243	0.7234	1.1095	0.7351	1.0954	0.74835	1.0822	0.76305	1.0699	0.7792
2.2	1.1325	0.70965	1.1165	0.72205	1.1014	0.7361	1.0872	0.75165	1.0739	0.7687
2.3	1.1404	0.6969	1.1232	0.70995	1.1070	0.7247	1.0919	0.7411	1.0778	0.7590
2.4	1.1480	0.68495	1.1297	0.69865	1.1124	0.71415	1.0963	0.7313	1.0814	0.7500
2.5	1.1553	0.6738	1.1358	0.6881	1.1176	0.70425	1.1006	0.72215	1.0849	0.7416
2.6	1.1623	0.66335	1.1417	0.67825	1.1225	0.69605	1.1046	0.7136	1.0881	0.7338
2.7	1.1691	0.6535	1.1474	0.66895	1.1272	0.6814	1.1084	0.7056	1.0912	0.7265
2.8	1.1756	0.6442	1.1529	0.66025	1.1317	0.67825	1.1121	0.6981	1.0942	0.71965
2.9	1.1819	0.63545	1.1581	0.6520	1.1360	0.67055	1.1156	0.691	1.0970	0.7132
3.0	1.1880	0.62715	1.1632	0.6442	1.1401	0.66335	1.1190	0.68435	1.0997	0.7071

UDC 621.317.39.082.72:533.275

薄膜を要素とした容量形電気湿度計の研究*

資料・論文

35-88

正員 新井 智一† 出典 糸 文 二 郎†

1. 緒 言

大気中に含有される水蒸気量あるいは湿度を電気的に迅速かつ容易に測定しようとした Dunmore 氏の研究⁽¹⁾をけいきとして、感湿要素についての改良および開発が行われ、外国においてはもとより、わが国でも着々とその成果をあげ、芝氏⁽²⁾の木材繊維を塩化リチウムにて処理したもの、芦沢氏⁽³⁾のセレン薄膜を使ったものなどが実用に供されるようになった。

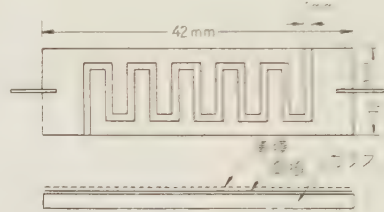
前記の感湿要素はいずれもその電気抵抗が相対湿度(以下湿度)により非常に敏感に変化する性質を利用したものである。そのため、(1)分極作用があり、安定な交流電源を必要とする。(2)著しい温度依存性があり、温度補償をしなければならない。(3)抵抗値の変化範囲が広いため同一要素にて湿度 0~100% の測定が困難である。(4)経時変化が大きい。などの欠点がある。以上のうち (1), (2), (3) については要素の吸湿にともなう電気抵抗の変化を利用するかがりは避けることはできない。

筆者らは永年にわたり固体、液体中の水分含有量を電気的に測定する方法について研究し、⁽⁴⁾材料の水分量にともなう容量変化を利用すべきであるとの結論に達した。これにもとづき簡単でかつ高感度の微小容量測定回路を開発して実用に供しうようになった。これが応用として、気体中の水分すなわち湿度の測定を容量変化を利用しうよう適当な感湿要素をさがし、種々の実験を行い、ある種類のものについては充分工業化することも可能となったので、ここに発表し方のご批判を得たい。

2. 各種薄膜の特性比較

感湿要素に要求される特性のうちで、特に湿気応答速度の速いことは不可欠である。筆者らは先にガラス繊維を要素としたものの応答性について調べたが、金網を平行板電極とした間に繊維をつめたため、繊維一本一本については表面吸着であっても実際は重なっているもので、充分満足すべき応答性を得ることはできな

かった。それゆえ応答速度の速いものを得るためには、要素の材料が吸収*をとまわず、吸着*のみ起すものであることが第一の条件である。しかしある程度吸着*があるものでも、その厚さを充分薄くすればよいとの見解にたつて、第1図のような電極構造にした。

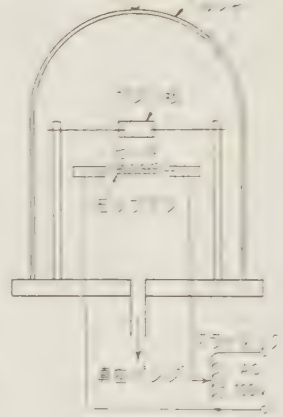


第 1 図

(2・1) 薄膜の製法

a メタリウム薄膜の形成 塩化リチウム薄膜の形成 塩化リチウム薄膜の形成 塩化リチウム薄膜の形成 塩化リチウム薄膜の形成 塩化リチウム薄膜の形成 塩化リチウム薄膜の形成 塩化リチウム薄膜の形成 塩化リチウム薄膜の形成 塩化リチウム薄膜の形成

電極をつけたガラス板を置き、ヒータ内にはメタリウム酸カリあるいは塩化リチウムをのせたモリブデンボートを入れ、真空そう内が約 10^{-5} mmHg 以上になったときヒータの電源を入れて、モリブデンボート中の試料を蒸発させた。なお蒸着膜をつけたガラス板はそのまま約 12h



第 2 図

そう内においてから取り出した。

(b) ベントナイト薄膜 斎藤、酒井氏⁽⁵⁾が行ったと同様な方法によった。ただし電解液による処理は行わなかった。

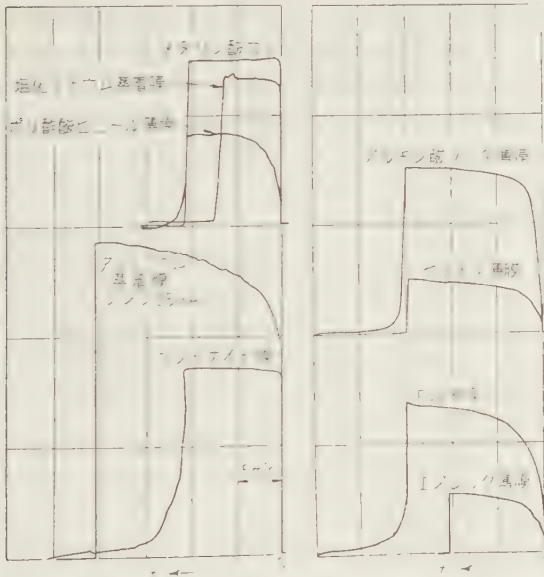
* 気体と固体を接触させた場合、気相からの分子の消失が起る。この消失した分子が固体中にはいったときを吸収、表面に留まっているときを吸着といい、両者が同時に起っているときを吸着と定義する。この定義は実験化学講座7(界面化学)(丸善)によった。

* Studied on the Capacitance Type Hygrometer using a Thin Film. By T. ARAI, Member & B. ICHIJO, Member (Faculty of Engineering, Shizuoka University).

† 静岡大学工学部

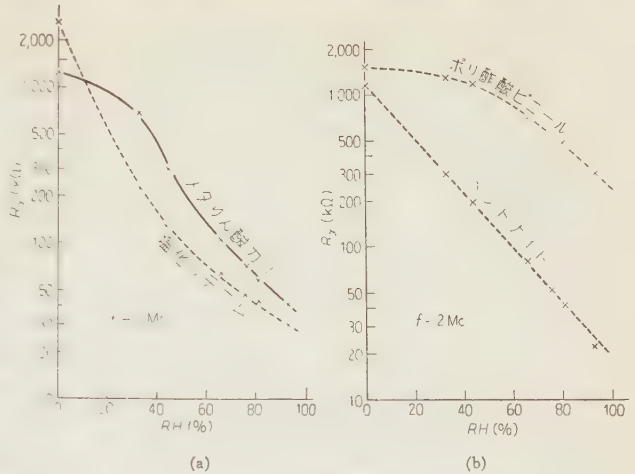
(c) 高分子薄膜 アルギン酸ソーダ、カルボキシメチルセルロース (CMC)、デンプン、ダウエルゴム、ポリビニールアルコール (PVA)、ゼラチンなどは水によく溶かし塗布後乾燥した。エスレック (ビニルブチラール、酢酸ビニール、ビニールアルコールの共重合物) はエチルアルコールに塩化リチウムをわずかに入れて溶かし、塗布後乾燥した。ポリ酢酸ビニールはそのメチルアルコール溶液に 1% 程度の塩化リチウムを入れ、この溶液にガラス板を浸して取り出し、自然乾燥したのち 80~90°C の恒温槽中で 2h 熱処理した。

(2・2) 応答度 上記の各種薄膜について、湿度 0% 中より急激に湿度 93% の恒湿中に入れ換えたときの、時間に対する静電容量の変化を記録したものを第 3 図に示す。アルミニウム蒸着膜以外は記録計の増幅度が同じであるから、縦軸のふれの大きいものは容量変化は大きい。また 5~15



第 3 図

min 後の急変部分は 93% 中から 0% へもどしたときの脱着を調べたものである。これらの結果よりメタリウム酸カリ、塩化リチウム、ペンタナイト膜などの吸湿応答度は非常に速い。ポリ酢酸ビニール、酢酸繊維素膜は平衡に達するのに 5 min 程度の長時間がかかる。その他の薄膜は明らかに吸収現象が起きるため平衡に達していない。しかしそれらのものでも脱着性は速いが、ペンタナイト膜のみ特に遅く 15 min 以上も



第 4 図

かかっている。また塩化リチウム蒸着膜では、図に表われているように特異な脱着性が認められた。すなわち吸着後 5 min にて要素を湿度 0% にもどしたにもかかわらず、そのままの状態が 2 min 程度続き、それから急激にもどっている。

以上の吸脱着の応答度を比較した場合、これら各種薄膜のうちでメタリウム酸カリ蒸着膜が特にすぐれた速さをもっていることがわかる。

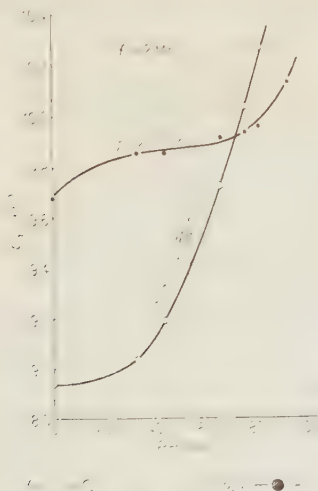
(2・3) 誘電特性

感湿要素の湿度変化にともなう誘電特性を、周波数 2 Mc で差動コンデンサ法で測定した。その等価並列抵抗および容量をそれぞれ R_x , C_x とすれば第 4 図、第 5 図のようである。 R_x -湿度 (RH) 特性からは、高湿度において R_x の値が非常に低下す



るものは、この影響をうけないような微小容量測定回路の製作を困難にするから R_x の値が高いほどよい。 C_x -RH 特性からは、 C_x が吸湿量に比例すると考えられるゆえ、湿度変化にともなう C_x の変化の大きいものほど望ましい。しかし吸着等温曲線は大別すると 5 つの形*になるが、メタリウム酸カリ、塩化リチウム、ペンタナイト、アルギン酸ソーダ、CMC、PVA

* 実験化学講座 7 (界面化学) (丸善) より

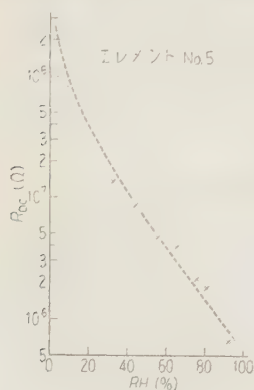


第 5 図

などは III 形に属し、デンプン、ダウエルゴムは II 形に属することがわかる。したがって、III 形に属する要素は低湿度での容量変化が少ないうらみがある。

3. メタリン酸カリ蒸着膜の特性

メタリン酸カリ蒸着膜を抵抗形感湿要素として使った例は、すでに Wezler 氏⁽⁶⁾の報告がある。蒸着膜を生産するときのカルブリ（炭化カルブリ）の成分は、ほぼ同じように行った。電極の材料は初め銀を蒸着したが、水洗の際にはがれるので、以後はパラジウムを焼き付けるようにした。薄膜の厚さは Strong 氏⁽⁷⁾により示されている式より計算により求めたが、およそ 300~1,100 Å の範囲にわたっている。このうち厚さの値が大きいものは特に低湿度で感度を上げるために作ったが、以下の特性のものは厚さ約 500 Å である。



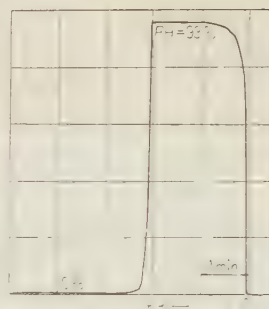
第 6 図

(3・1) 電気的特性

第 6 図は先にあげた高周波特性を示す第 4 図 (a) および第 5 図 (a) と同じ薄膜についての直流特性である。なおこのときの電源電圧は 145 V、電流は 4 レンジのマイクロアンメータを使い、その読みは電圧印加後 1 min のものをとった。

(3・2) 応答度 前に示した第 3 図は記録紙の送り速度が遅いため、メタリン酸カリ蒸着膜などの応答度

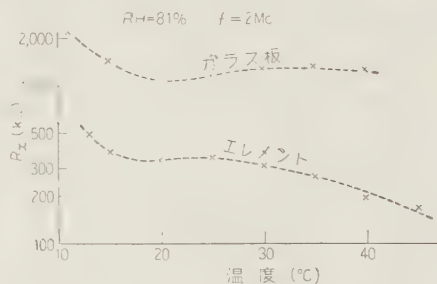
の速いものの特性は明りょうでなかった。第 7 図は $RH=0\%$ より 93% に急変したときと、逆に 93% より 0% に急変したときの応答性を記録させたものである。また、 1 min 以内にて完全に平衡に達すること



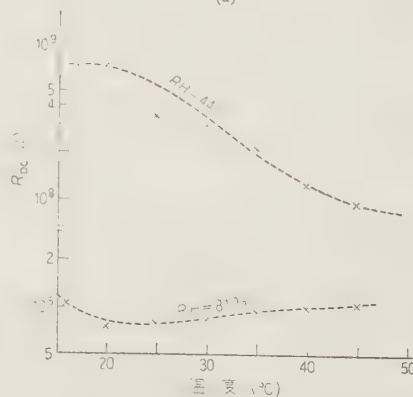
第 7 図

がわかる。なお湿度変化が数十パーセントであれば 15 s 程度で平衡になる。

(3・3) 温度依存性 温度の変化にともなって感湿要素の R_x および C_x がどのように変わるか調べた。第 8 図 (a) は $RH=81\%$ 中で感湿要素と蒸着膜をつけない状態のガラス（並ガラス）板との R_x を測定した結果である。要素のほうは 30°C 以上になるとその影響がきいてくる。直流では第 8 図 (b) のようになり、低湿度におけるほど温度依存性は大きい。この結果は文献 (6) とよく一致する。次に C_x の変化量 ΔC_x と温度との関係は第 9 図 (a) に示すようである。低湿度たとえば $RH=44\%$ 中においては、 20°C までは

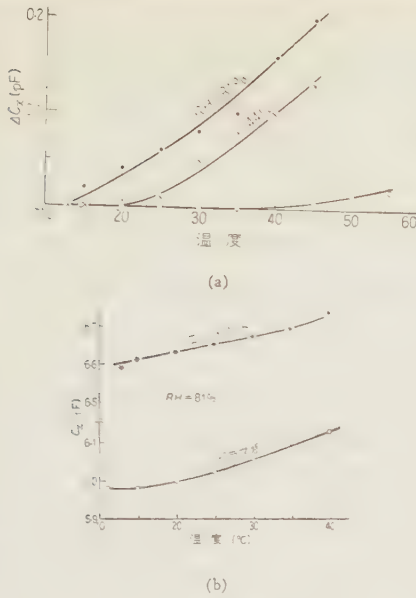


(a)



(b)

第 8 図

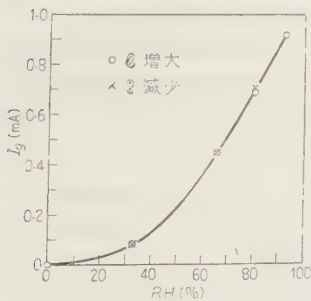


第 9 図

温度による影響は全くないが、30°C では急激にふえて誤差は 50 % にも達する。しかし第 9 図 (b) にみられるように、要素とガラス板との ΔC_x -温度特性はほとんど一致するから、 C_x の温度依存性はほとんどガラス板の誘電率の変化と思われる。これを証明する結果は Bueche 氏⁽⁸⁾や黒崎氏⁽⁹⁾の実験により、吸湿量の湿度特性が温度により変わらないことが明らかになっている。したがって C_x の温度依存性を除くには、誘電率が温度によりほとんど変化しないようなベース材料を選ぶことも一方法であるが、筆者らは (4.1) 節に述べるように回路的に行っている。

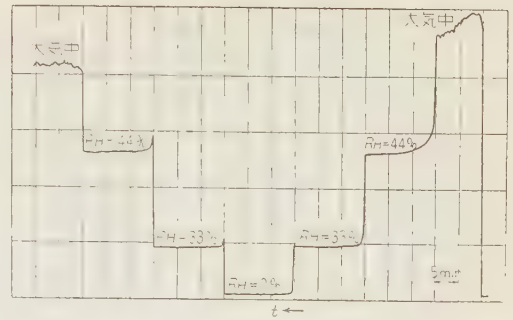
(3.4) ヒステリシスおよび経年変化 $RH=0\%$ から順次湿度を増大していった場合の、要素の容量変

化にともなう指示電流計の変化 I_0 と、逆に高湿度より順次減少させた場合の I_0 との関係を第 10 図に示す。この際湿度の増大にくらべ減少のときには平衡になるのに 3 倍程度の時間がかかる



第 10 図

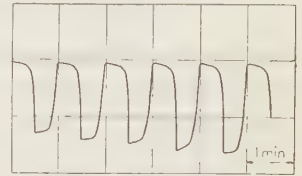
が、ヒステリシス誤差はメータの読み取り誤差に近い。第 11 図は大気中→0%→大気中と湿度変化を循環させたときの記録である。大気中の場合の不連続曲



第 11 図

線は大気湿度の微小変化を表わしているものである。第 12 図は 1 min の周期で $RH=33\%$ と 81% とに変化したときの記録である。なおこのときは増幅器 (記録計内付) の感度を落して使っているので変化量は少ない。また

図で曲線の上限は一致するが、下限は次第に高くなっている。これは脱着の際 RH が 0 % でないとその応答



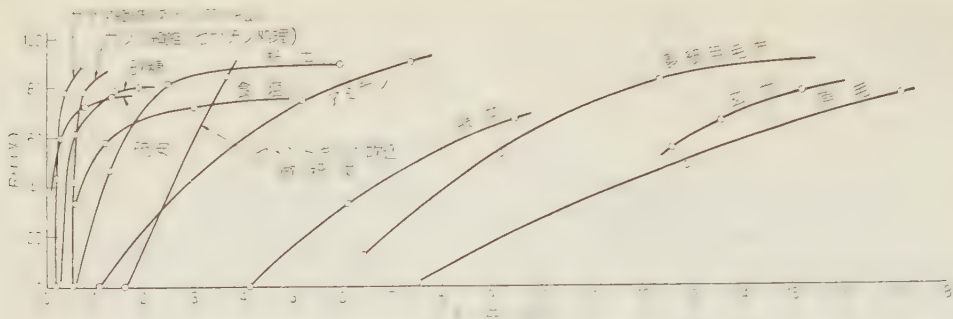
第 12 図

度が第 7 図のように速くないためと、くり返しの周期が早いので恒湿そうの低湿度側が次第に変化したためと思われる。

主たる湿度測定が連続的に行うものでなく、ある狭いふんい気の湿度を迅速に測ることを目的としているので、要素の経年変化についての測定は、Wexler 氏が行ったような、高湿度中に置いてその特性変化は調べていない。しかし要素を $RH=0\%$ 中に保存し、その湿度-誘電特性を現在まで (製作以来 10 个月以上になる) 調べているが、特性変化はほとんど認められない。また要素を後述の装置に取り付け、 $RH=0\%$ の状態で装置の零点を調整し、感度チェック (微小容量変化を与えたときの指示計の読みを合わせる) を行った後、湿度と指示計の読み I_0 との関係をとり、 $RH=93\%$ 中に要素を入れたときの読みの平均を示せば第 1 表のごとくである。7 个月後において 4 % 程度少なくなっているが、そのときの室温

第 1 表

経 過	0~1 个月	3 个月	5 个月	7 个月
室温 (°C)	28	30~32	25~29	10~11
I_0 (mA)	0.93	0.93	0.92	0.90

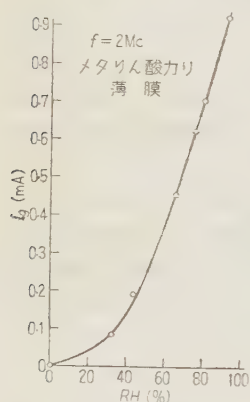


第 14 図

は 10°C であり、 $\text{RH}=93\%$ というのは恒湿そうの温度が 20°C のときの値であるから、その補正を行えば要素の変化はほとんど問題にならない。なお装置には感度調整を行えるようになっているから、 10°C においても指示計を $93\mu\text{A}$ にすることも可能である。

4. 湿度計と測定例

(4.1) 湿度計 測定回路は水分計⁽⁴⁾のものとほとんど同じで、直読および記録の2方式を行うことができる。感湿要素は金網でシールドをほどこし、第II



第 13 図

回路に接続する。^{*}なお水分計、濃度計の場合には電極を決めても測定すべき試料の種類によってその等価並列抵抗は異なるから、その影響をうけないようにするためには、いちいち測定する試料についてあらかじめ測っておかねばならなかった。しかし、湿度計では要素が決まれば、それについての等価並列抵抗

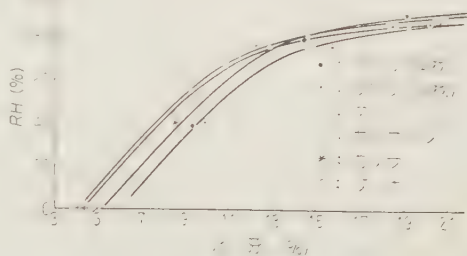
を考慮するだけであるから調整はもっとも容易である。第13図は試作装置の校正曲線である。これは初め要素を $\text{RH}=0\%$ に入れて零点を調整し、しかるのちあらかじめ用意してある塩類飽和溶液を使った恒湿そうに順次入れて、指示計のふれが一定になった値を読みとって作ったものである。電流計は最大 1mA のものを使ったから、 $\text{RH}=40\%$ 以下の低湿度の測定

もマイクロアンメータを使うことにより充分できる。

(4.2) 測定例 湿度計の応用としては大気中の湿度測定ばかりでなく、綿、粉体、粒体のようなものの水分含有量をそのふんい気の湿度を測定することによって求めることができる。また記録方式にすれば時間に対して湿度の時々刻々の変化を知ることができる。以下それらの測定結果について述べる。

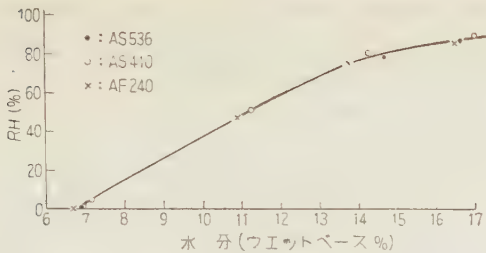
(a) 粉・粒体の湿度と水分との関係 粉・粒体の水分は電気的に測定されているが、測定にさいし試料を圧縮することが必要であり、粒度の影響を及ぼすこと、固体の表面に付着する水の性質が普通と異なるなど⁽¹⁰⁾のため容易ではない。第14図は各種試料を湿度の異なる恒湿そう中に相当期間放置して、その水分が完全に一定になった平衡状態にしたものの水分(絶乾法にて測定)とふれとから求めた湿度-水分特性を示したものである。この図からわかることは、ガラス繊維、硫酸、砂糖などのようにその水分が表面に付着する場合と緑茶、玄米、原毛などのように水分が内部にも浸透する場合とで特性が異なる。なお製紙用毛布は化繊(アミラン)との混紡であって、混紡率の相違によってアミランと原毛との特性曲線の間の位置にはいることがわかる。

第15図は木材の平衡状態における湿度-水分特性を測定した結果である。この場合も木材に直接電極をあてて抵抗あるいは容量値から水分を求めること

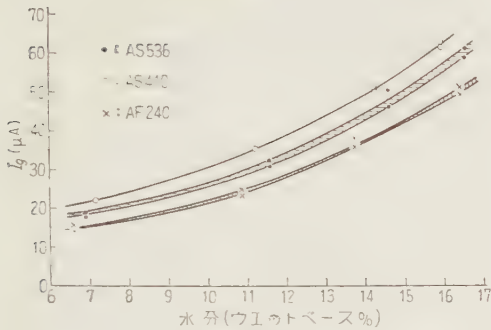


第 15 図

^{*} この際測定するふんい気が常温より非常に高い場合は、温度による影響をさけるため第II回路の一方には感湿要素をつけ、他方にはメタリム酸カリを蒸着しない電極だけの板をつけて回路をセツトする。このようにすれば温度変化に伴う容量変化は打ち消され、実用的に充分満足な結果を得ている。



(a)



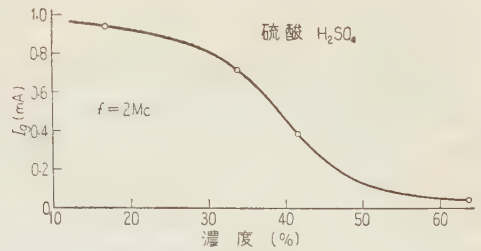
第 16 図

種類でも産地により異なったり、方向性や同一のものでも偏材と心材ではまた違うといった結果がでて校正曲線をとるのが大変であるが、湿度測定からならば相当程度に曲線の一致がみられる。

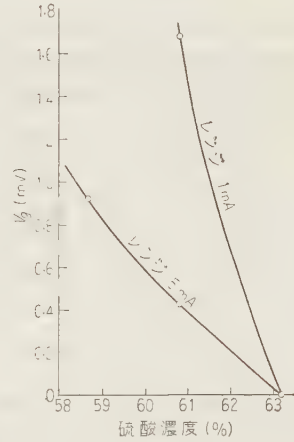
第 16 図は純毛織物についての測定結果で、厚さおよび織り方の異なる 3 種類のものを選んだ。同図 (a) は湿度と水分との関係で同一曲線になるが、同図 (b) は格子電極を使った水分計の校正曲線で、同じ試料でも織り方に裏表があるもの（特に AS 536）は電極にあたる側の相違で指示値が違ふ。

(b) 液体の水分測定 第 17 図 (a) は硫酸の濃度と湿度計の指示値との関係を求めたものである。それほど単純な曲線ではないが、しかし濃度が濃くなっても抵抗法のように最小値は現われない。なお増幅することによってある濃度を基準にしたときの微小濃度変化の測定も行いうことができ、一例を同図 (b) に示す。

(c) 湿度の連続測定 室内における湿度の変化を記録したものを第 18 図に示す。第 19 図は塩化マグネシウムの飽和溶液を入れた容器を大気中 ($RH=70\%$) に開放状態にしておいて、次いで密閉したときに容器内が平衡 ($RH=42\%$) に達するのにどれほどの時間を要するかを記録したものである。なおさらに長期間の測定については別に研究中である。

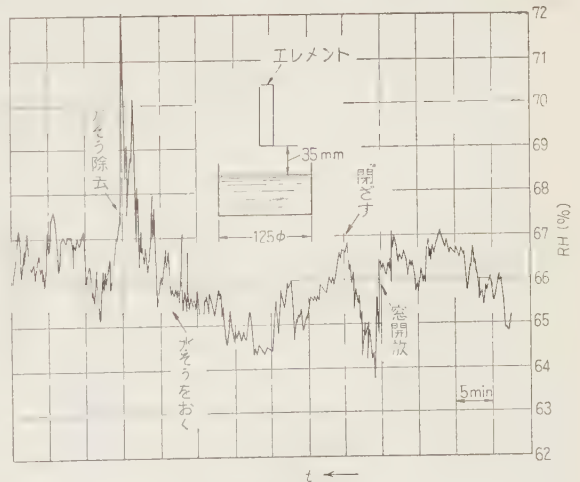


(a)



(b)

第 17 図



第 18 図



第 19 図

5. 結 言

宮田宏助教授のお世話になった。付記して謝意を表す。(昭和 35 年 2 月 11 日受付, 同 6 月 9 日再受付)

文 献

容量形感湿要素としての各種薄膜の特性を調べ、その結果現在のところメタりん酸カリ蒸着膜がすぐれた特性をもっていることがわかった。そこでこの要素を使って粉粒体の湿度と水分との関係を求め、興味ある結果を得ることができた。なお薄膜の材料についてはさらにすぐれたものが得られるよう、その開発に努力したい。

終りに試料の一部は本学部工業化学科酒井世希秋助教授の、化学的問題の解明には同科村田旭助教授、山内文雄氏の援助をうけ、蒸着膜の製作には電子工学科

(1) F. W. Dunmore: Jour. Res. N.B.S. **23**, 701 (1939)
(2) 芝: 科学 **25**, 372 (昭 30)
(3) 芦沢: 電学誌 **77**, 702 (昭 32)
(4) 一条・新井: 電学誌 **76**, 99 (昭 31); 電学誌 **77**, 460 (昭 32); 電学誌 **78**, 452 (昭 32); 新井・一条: 電学誌 **79**, 1146 (昭 34)
(5) 斎藤・酒井: 昭 29 東京支部連大
(6) A. Wexler, et al.: Jour. Res. N.B.S. **55**, 71 (1955)
(7) J. Strong: Procedures in Experimental Phys. p. 177
(8) F. Bueche: J. Polym. Sci. **14**, 414 (1954)
(9) 黒崎: 日化誌 **72**, 688 (昭 26)
(10) 岩田・篠原: 電学誌 **77**, 1062 (昭 32)

正 誤

植野一郎・上之園親佐・上之園 博: 突極形同期発電機強制並列時の同期引き入れ現象について〔第 8 巻, 第 2 冊, 第 857 号, 172 ページ掲載 (昭 35)〕

173 ページ左第 1 図に図説〔 x_l : 電機子巻線漏れリアクタンス, x_F' : 界磁巻線漏れリアクタンス, 回転子すべりの単位 (p. u)〕をそう入。

ページ	場 所	誤	正
174	第 3 図中の表	1 T_{d0} 3,126	1 T_{d0} 312.6
		2 3,126 ⋮	2 312.6 ⋮
		3 放電抵抗 ⋮ 2.0	3 放電抵抗 ⋮ 20
		4 2.0	4 20
		5 2.0	5 20
175	第 6 図中の表	曲線 x_q ⋮ b' 0.598	曲線 x_q ⋮ b' 0.498

UDC 621.313.333 : 621.316.718.8

誘導電動機の速度制御方式に関する考案*

資料・論文

35-89

正員 神 崎 勇 二†

1. ま え が き

電動機を速度を広範囲に効率よく制御する方式として、直流電動機については、ワードレオナード方式、誘導電動機については、セルピウス方式、クレーマ方式がある。いずれも補助の機械を必要とし、設備費が非常に高くなる。ワードレオナード方式においては、差動歯車を使用し電動発電機の有する動力の一部を直ちに負荷へ伝達することにより、直流発電機、主電動機の容量を小ならしめるようにした方法がある。

筆者は、この考えをセルピウス方式およびクレーマ方式に適用し、補助の機械の一部を大幅に小容量化するものについて考える。

すなわち、第1図に示すように、これら2つの方式を併用した差動セルシンを用いることも可能で、これにセルピウス方式に差動セルシンを用いる場合には、不必要な機械をとりぬき、二次励磁誘導発電機を用いた方式に誘導することができて、簡単かつ実用的、経済的な速度制御方式が得られた。

以下本論文では、すべての方式について、誘導電動機のすべり s は $1 \geq s > 0$ の範囲にあり、電源の周波数は f (c/s)、使用する各機械、歯車には損失はないものとして説明する。

2. 差 動 歯 車

第1図に差動歯車の構造を示し、三つの軸および歯車に図示のような名称をつけることにする。

差動歯車の3軸のうち、任意の2軸より動力を入れ、第3の軸よりそれらの和の動力をとり出すことができ、また任意の1軸より動力を入れ、他の2軸にわかれて出るようにすることもできる。

いま、左側軸歯車、右側軸歯車、大歯車および小歯車の回転数、トルクをそれぞれ $N_A, N_B, N_C, N_D, T_A, T_B, T_C, T_D$ とし、大歯車と小歯車について、 $g = \text{大歯車歯数} / \text{小歯車歯数}$ とすれば、次の四つの式が成立する。

$$T_A = T_B \dots\dots\dots (1)$$

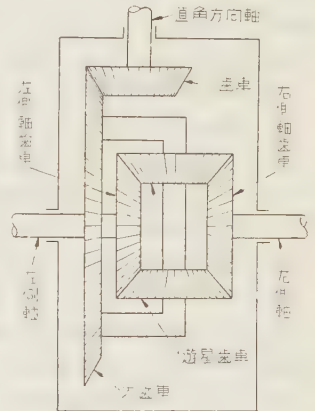
$$T_D = T_C/g = (T_A + T_B)/g \dots\dots\dots (2)$$

$$N_D = gN_C = g(N_A + N_B)/2 \dots\dots\dots (3)$$

$$T_D N_D = T_C N_C = T_A N_A + T_B N_B \dots\dots\dots (4)$$

ただし、(3)、(4)

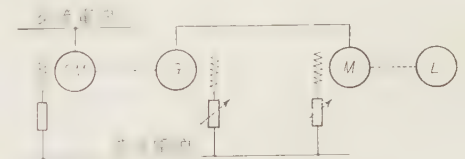
式において N_A, N_B は左右の軸が同一方向へ回転しているときには同一符号、互に逆方向へ回転しているときには異符号をとる。(1)式および(4)式より、左右両軸の動力はそれぞれその軸の回転数に比例することが知られる。



第1図 差動歯車

3. 差動歯車を用いたワードレオナード方式

初めに、差動歯車を用いたワードレオナード方式の原理について説明する。



第2図 ワードレオナード方式

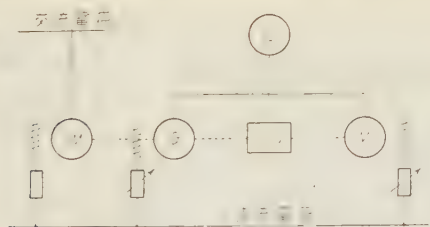
現在広く用いられているワードレオナード方式(第2図)においては、主電動機の変電圧電源として電動発電機が使用されているが、負荷 L を駆動するに要する動力はすべて電動発電機より主電動機へ直流電力として伝達されている。したがって、電動発電機の電動機、直流発電機および主電動機の3者は同じ容量のものが必要である。

電動発電機の有する動力の一部を差動歯車を通して負荷へ伝達するようにすれば、直流発電機、主電動機の容量を減少することができる。すなわち、第3図に示すように、差動歯車 DG の左側軸に同期電動機、

* New Concepts in Speed Control of Induction Motors. By. Y. KOZAKI, Member (Faculty of Engineering, Shinshu University).

† 信州大学工学部、電気機器担当

* 特許出願中



第3図 差動歯車を用いたワードレオナード方式
(直流電動機、誘導電動機でもよい)直流発電機からなる電動発電機、右側軸に主電動機、直角方向軸に負荷を結合し、同期電動機の有する動力の一部を直ちに左側軸より差動歯車を通して負荷へ伝達し、残りの動力は一度直流電力に変換し、右側軸より差動歯車を通して負荷へ伝達する。

負荷の速度は主電動機の変えることにより制御することができる。すなわち、主電動機を同期電動機と同じ方向へ回転させれば負荷は高速度になり、主電動機を同期電動機と逆に回転させれば、低速度となる。主電動機が同期電動機と反対の方向へ、同期電動機と同じ速度で回転すれば負荷は停止する。

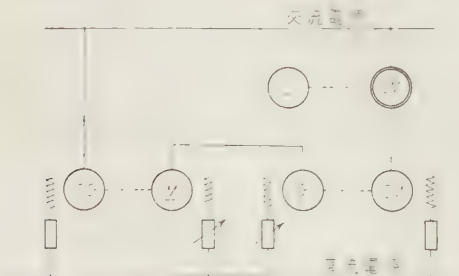
この方式に必要な直流発電機、主電動機の容量は、同期電動機の容量の50%である。

負荷の速度を(同期電動機速度) $\times g/2$ の上下に、せまい範囲で制御する場合には直流発電機、主電動機はわずかな容量で足りることになる。なお、主電動機が同期電動機と反対の方向へ回転するときには、直流発電機が電動機となり、主電動機が発電機となる。

4. 差動歯車を用いたセルピウス方式

(4.1) 従来の方式 誘導電動機の二次励磁による速度制御方式の一つであるセルピウス方式は、第4図に示すように、誘導電動機の二次電力 $[sf(c/s)]$ を補助の機械により周波数を変えてもとの電源へ返還するようにしている。

補助の機械として、第4図においては交流の発電機に同期発電機を用いているが、誘導発電機でもよく、

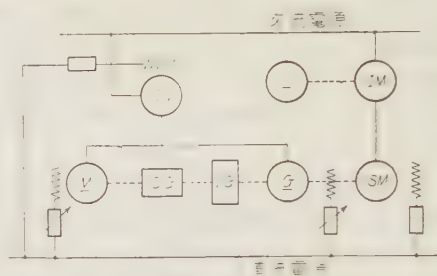


第4図 セルピウス方式

また、誘導電動機二次電力を直流に変換するには、電動発電機の代わりに回転変流機、水銀整流器、金属整流器を用いてもよい。さらに、交流発電機の駆動装置として交流整流子電動機のみを用いた方式もある。

セルピウス方式としては、誘導電動機電流を一定に保ちながら速度を変化させれば、定トルク特性となる。いま、駆動する負荷が同じく定トルク特性の定格負荷とすれば、誘導電動機速度を $1 \geq s > 0$ の範囲にわたって制御するときには、補助機械も誘導電動機と同一容量のものが必要となり設備容量が大となる。

(4.2) 差動歯車を用いた方式の概要 セルピウス方式においても、前章のワードレオナード方式と同じく差動歯車を用いることにより一部の補助機械の容量を大幅に減少できる。



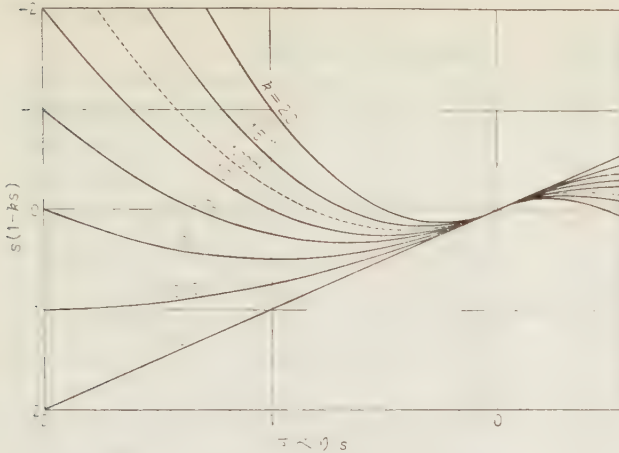
第5図 差動歯車を用いたセルピウス方式

ところで、差動歯車を用いることができるのは第4図に示すような機械の組み合わせを有するセルピウス方式の場合で、これに差動歯車を使用したのが第5図に示す方式である。すなわち、差動歯車 DG の右側軸に変速歯車 VG を通して同期電動機と直流発電機、左側軸に直流電動機、直角方向軸に同期発電機を結合し、同期電動機の有する動力の一部を差動歯車を通して同期発電機へ伝達し、残りの動力は一度直流電力に変え、左側軸より差動歯車に入れ同期発電機へ伝達するようにする。この方式によれば、定トルク特性の負荷を $1 \geq s > 0$ の範囲にわたって制御するとしても、直流発電機、直流電動機の容量は誘導電動機の容量の25~20%でよいようになる。

(4.3) 差動歯車を用いた方式の原理 以下、誘導電動機は定トルク特性の定格負荷を駆動するものとして説明する。

誘導電動機のすべりが s なるとき、右側軸と左側軸の回転数の比が $ks : (1-ks)$ であれば、これらの軸の動力の比も $ks : (1-ks)$ である。ただし、 k は同期電動機、同期発電機の極数、差動歯車の歯数比 g および変速歯車の歯数比で決定される定数である。

誘導電動機の入力を基準の値1とすれば、 $(1-s)$ の



第 6 図

動力が負荷へはいり、 s の電力が同期電動機にはいり機械動力に変わる。この s の動力が $ks : (1 - ks)$ の比にわかれ、 $s \times ks$ に相当する分が差動歯車の右側軸に伝達され、 $s \times (1 - ks)$ に相当する分が直流発電機、直流電動機を経て左側軸より差動歯車にはいり、右側軸よりはいった動力 $s \times ks$ と合わさって同期発電機に s なる動力を伝達することになる。同期発電機はこれを $f(c/s)$ の電力として電源へ返還する。

したがって、直流発電機、直流電動機の出力は、 $s \times (1 - ks)$ で表わすことができる。 $s \times (1 - ks)$ を、 k をパラメータとして表わせば第6図のようになる。

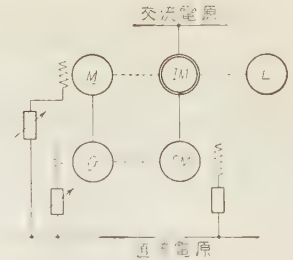
$s \times (1 - ks)$ は、 $s = 1/2k$ において正の最大値 $1/4k$ をとる。直流発電機と直流電動機の最小容量は、この最大値 $1/4k$ と、 $s = 1$ における値 $(k - 1)$ を等しいとおくことにより求められ、 $k = 1.2071$ のときに誘導電動機容量の $1/4 \times 1.2071 (20.7\%)$ となる。(第6図の点線) なお $k = 1.2071$ のときには、 $s > 1/1.2071$ で直流発電機が電動機となり直流電動機が発電機となる。

また、 $k = 1$ とすれば直流発電機、直流電動機は誘導電動機の容量の 25% でよく、 $k = 0$ の場合が第4図に示す従来のセルビウス方式である。

k を 1.2071 より大きくとれば、速度制御可能な範囲はせまくなるが、直流発電機、直流電動機はさらに小容量でよい。

5. 差動歯車を用いたクレマ方式

(5・1) 従来の方式 誘導電動機の二次励磁速度制御方式の他の一方式として、二次電力を機械動力に変えて誘導電動機の軸へ帰還するようにしたクレマ方式(第7図)がある。この場合にも、セルビウス方式と同じく同期電動機、直流発電機、直流電動機の代



第 7 図 クレマ方式

わりとして、回転変流機、水銀整流器、金属整流器および交流整流子電動機などを用いることがあり、誘導電動機は速度制御範囲が広くなれば、これらの補助機械は大容量となり設備費が高くなる。

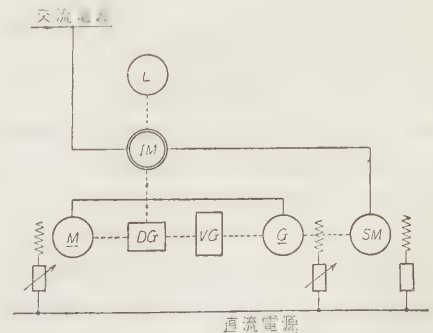
なお、クレマ方式は、誘導電動機の電流を一定に保って速度を変化させれば定出力の特性となる。

(5・2) 差動歯車を用いた方式の原理 クレマ方式についても、差動歯車を用い第8図に示すようにすれば、直流発電機、直流電動機の容量を小さくすることができる。

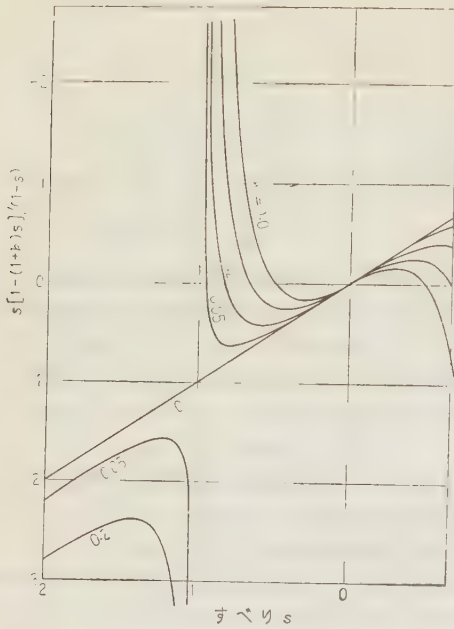
すなわち、差動歯車の右側軸に同期電動機と直流発電機、左側軸に直流電動機、直角方向軸に誘導電動機と負荷(定出力特性の負荷)が結合されているとする。誘導電動機のすべりが s であるとき、差動歯車の右側軸、左側軸の回転数の比が $ks : \{1 - (1 + k)s\}$ であるとすれば、右側軸、左側軸の動力も同じ比となる。

k については、セルビウス方式の場合と同じことがいえるが、同期発電機という語を誘導電動機におきかえなければならない。

誘導電動機の入力を 1 とすれば、 $(1 - s)$ の動力が直に負荷へはいり、残り s の電力が同期電動機にはいり機械動力に変わる。この s の動力が $ks : \{1 - (1 + k)s\}$ の比にわかれ、 $s \times ks / (1 - s)$ に相当する分が差動歯車の右側軸からはいって誘導電動機の軸へ伝達される。



第 8 図 差動歯車を用いたクレマ方式



第 9 図

残り $s \times \{1 - (1 + k)s\} / (1 - s)$ に相当する分は直流発電機で電力に変換され、次いで直流電動機、差動歯車左側軸を通して誘導電動機の軸へ伝達される。

したがって、直流発電機、直流電動機の出力は、 $s \times \{1 - (1 + k)s\} / (1 - s)$ で表わすことができ、 k をパラメータとして示せば第 9 図のようになる。 k のすべての正の値に対し、 $s = 1$ において負の無限大となるので、直流発電機、直流電動機の容量によって速度制御可能な範囲が決定される。たとえば、第 9 図の $k = 0.5$ では、直流発電機、直流電動機は誘導電動機の 27% の容量で、速度制御可能な範囲は $s = 0.73 \sim 0$ となる。同じ速度制御範囲について、従来の方式では誘導電動機の 73% の容量の直流機が必要である。

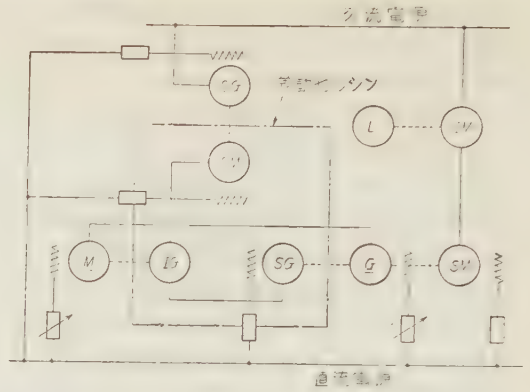
なお、 $k = 0$ の場合が第 7 図に示す従来のクレーム方式である。

6. 二次励磁誘導発電機を用いたセルピウス方式

(6.1) 差動セルシンを用いた方式とその簡略化

第 5 図の差動歯車を用いたセルピウス方式において、差動歯車を差動セルシンにおきかえれば第 10 図となる。

ここで、直流発電機側に結合された同期機は $sf(c/s)$ の発電機となるのであるが、 $sf(c/s)$ の電圧はすでに誘導電動機の二次側に存在しているので、この同期発電機をとりのぞくことができる。



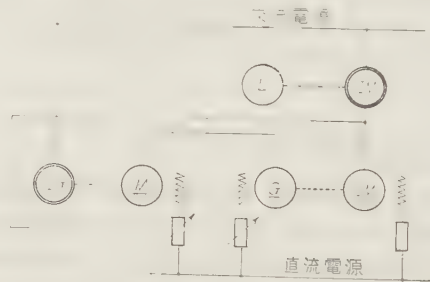
第 10 図 差動セルシンを用いたセルピウス方式

また、直流電動機側に結合された誘導機は回転子に $sf(c/s)$ の電力を受け、固定子より $f(c/s)$ の電力として出す二次励磁誘導発電機となる。したがって、この二次励磁誘導発電機と電源との間にある同期(電動)機および同期発電機も不必要となる。これらの必要でない機械をとりのぞけば、第 11 図に示すような簡単な接続の速度制御方式となる。この接続の方式は、第 4 図に示す従来のセルピウス方式において、交流発電機として誘導機を用い、その回転子を誘導電動機の回転子と接続したものと考えることもできる。

この方式において、誘導電動機の負荷が定トルク特性の定格負荷であるとし、その速度を $1 \geq s > 0$ の範囲にわたって制御するとすれば、同期電動機、直流発電機、直流電動機の 3 者が誘導電動機の容量の 25% の容量でよいことになる。

なお、この方式においても、同期電動機、直流発電機を回轉變流機、水銀整流器、金属整流器などでおきかえることができる。しかし、誘導電動機が低速になると、直流電動機に印加される電圧が高くなり、制御が困難となることがある。また、同期電動機、直流発電機、直流電動機の 3 者を交流整流子電動機におきかえることもできる。

以下、本方式では、誘導発電機を駆動するに必要な



第 11 図 二次励磁誘導発電機を用いたセルピウス方式

これらの補助機械を駆動装置と称することにする。

(6・2) 二次励磁誘導発電機を用いた方式の原理

誘導電動機が、定トルク特性の定格負荷を $1 \geq s > 0$ の範囲にわたって駆動するものとする。誘導電動機の入力を基準の値 1 とし、すべりを s とすれば、 $(1-s)$ の動力が負荷へはいり、 s の電力が回転子より出る。この s の電力を、誘導発電機で、回転子電氣的入力：回転子機械的入力：固定子電氣的出力 $= s : (1-s) : 1$ となるようにするため、 $s : (1-s)$ の比にわけ、 $s \times s$ の電力を電氣的に回転子へ入れ、 $s \times (1-s)$ に相当する分を駆動装置を通して機械的に回転子へ入れる。

$s \times s$ の電力が、回転子の周りを s に相当する速度で回転する磁界をつくり、これと同じ方向へ $s \times (1-s)$ の機械的入力が回転子を $(1-s)$ に相当する速度で回転させるとすれば、固定子より 1 に相当する周波数すなわち $f(c/s)$ の大きさ s なる電力が出て電源へ返還されることになる。したがって駆動装置の出力は $s \times (1-s)$ で表わされる。 $s \times (1-s)$ は $s=0.5$ で最大となり、最大値は 0.25 である。(第 6 図、 $k=1$ 参照)

これより、駆動装置の容量が誘導電動機の容量の 25 % であれば、誘導電動機は $1 \geq s > 0$ の範囲にわたって速度制御を行うことができることになる。

7. 二乗トルク特性の負荷を駆動するセルビウス方式

定出力特性のクレーマ方式で定トルク特性の負荷を駆動することはあまりないが、定トルク特性のセルビウス方式でファン、ブロワなどの二乗トルク特性の負荷を駆動することは多い。

二乗トルク特性の負荷を駆動する場合には、従来のセルビウス方式によっても比較的小容量の設備でよいが、二次励磁誘導発電機を用いた方式によればいかにどの効果があるか検討してみることにする。

いま、第 4 図に示す従来の方式において、 $s=0$ における誘導電動機の定格出力を基準の値 1 とすれば、負荷のトルクが速度の二乗、すなわち $(1-s)^2$ に比例するときには、誘導電動機の入力が $(1-s)^2$ 、出力が $(1-s)^3$ で表わされ、二次電力は $(1-s)^2 - (1-s)^3 = s(1-s)^2$ となる。 $s(1-s)^2$ は $s=1/3$ において最大値 0.148 をとるので、補助の各機械の容量は誘導電動機の容量の 14.8 % でよいことになる。

次に、第 11 図に示す二次励磁誘導発電機を用いた方式では、誘導発電機は従来の方式と同じく 14.8 % の容量が必要であり、駆動装置は誘導発電機の回転子にはいる機械動力が誘導電動機二次電力 $s(1-s)^2$ の $(1-s)$ 倍、すなわち $s(1-s)^3$ で表わされるので、

$s(1-s)^3$ の最大値 0.1054 ($s=1/4$ における値) より、誘導電動機の約 10.5 % の容量でよいことになる。

駆動装置のみについては従来の方式にくらべ 71 % に減少されるが、誘導電動機をも含めた全設備（ただし負荷は入れない）について比較すれば、駆動装置の機械の組み合わせによって異なるが 96~92 % に減少するにすぎない。

8. 実験結果

実験に使用した機械を第 1 表に示す。差動歯車を用いたセルビウス方式およびクレーマ方式においては、負荷として 220 V、1.8 kW の直流発電機を用い、二次励磁誘導発電機を用いたセルビウス方式の場合には誘導電動機の出力を電気動力計で測定した。

第 1 表

図中の記号	機 械	定 格
IM	誘導電動機	三相、220V、3.7 kW、60 c/s、6 極
SM	同期電動機	三相、200V、3 kVA、60 c/s、4 極
G	直流発電機	220V、0.75 kW、2 極、1,650 rpm
M	直流電動機	100V、1.5 kW、4 極、1,710 rpm
SG	同期発電機	三相、220V、3.5 kVA、50 c/s、4 極
IG	誘導電動機*	三相、220V、1.49 kW、60 c/s、6 極
—	シュラゲ電動機**	三相、220V、1 HP、60 c/s、4 極、650~2,000 rpm

* 誘導発電機として使用。

** 誘導発電機の駆動装置として使用。

使用した差動歯車はオート三輪車用のもので、 $g=41/13$ であり、モビールオイルにかなりの量の変圧器油を混じ損失を減ずるようにした。

また、誘導電動機の回転子電圧（最大値 72 V）と補助の同期電動機またはシュラゲ電動機の電圧が相違しているので、前者の場合には誘導電圧調整器を、後者の場合には変圧器を使用した。

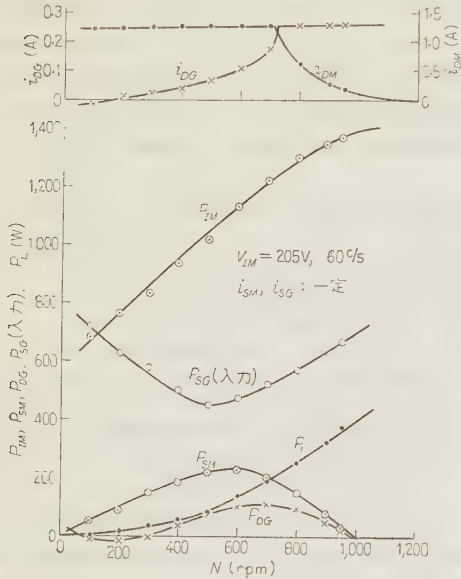
(8・1) 差動歯車を用いたセルビウス方式 この実験においては、差動歯車の右側軸と同期電動機、直流発電機との間に、歯数比 14/21 の変速歯車を入れ、左側軸には直流電動機を直結、直角方向軸には 39/41 の歯数比を有する歯車を用いて同期発電機を接続した。したがって、誘導電動機のすべり s が 1 より 0 まで変われば、差動歯車の右側軸は 1,200 rpm より 0 rpm まで変わり、左側軸は逆に 0 rpm より 1,200 rpm まで変わる。これに対し、直角方向軸は差動歯車内の歯数比 41/13 の大・小歯車および歯数比 39/41 の歯車により、1,800 rpm で回転する。以上は $k=1$ の場合で、 $k=1.2071$ の場合には、右側軸の変速歯車の歯数比を 17/21 とし右側軸の回転数を増して、1.2071 に近い 1.2143 を得るようにした。

第 12 図は、 $k=1$ における誘導電動機速度に対す

る各部の電力を示すものであり、第 13 図、第 14 図はそれぞれ $k=1$, $k=1.2143$ における負荷発電機出力に対する各部の電力などを示すものである。

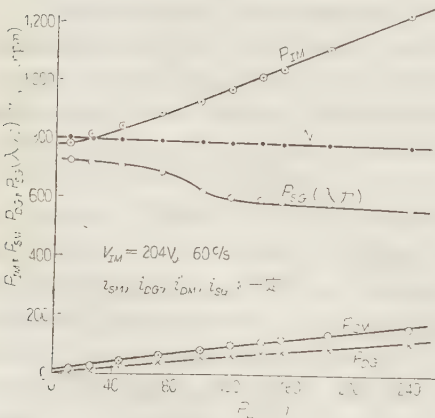
実験の結果は、使用機械、差動歯車の損失が大きく、同期発電機が電動機として動作している状態であるが、直流発電機の出力 P_{DG} は非常に小さく、 $s \approx 0.5$ で最大となっていることが確かめられた。

また、 $k=1.2143$ の第 14 図は、 $k=1$ の場合より P_{DG} がさらに小さくなっていることを示している。



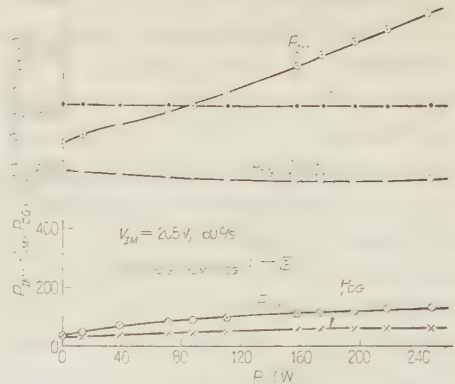
P_{IM} : IM 入力, P_{SM} : SM 入力, P_{DG} : G 出力, P_{SG} (入) SG 入力 (出力であるべきもの), P_L : 負荷発電機出力, i_{DG} , i_{DM} , i_{SM} , i_{SG} はそれぞれ G, M, SM, SG の界磁電流を示す。

第 12 図 差動歯車を用いたセルピウス方式 対速度特性 ($k=1$)



(記号説明は第 12 図参照)

第 13 図 差動歯車を用いたセルピウス方式 対出力特性 ($k=1$)



(記号説明は第 12 図参照)

第 14 図 差動歯車を用いたセルピウス方式 対出力特性 ($k=1.2143$)

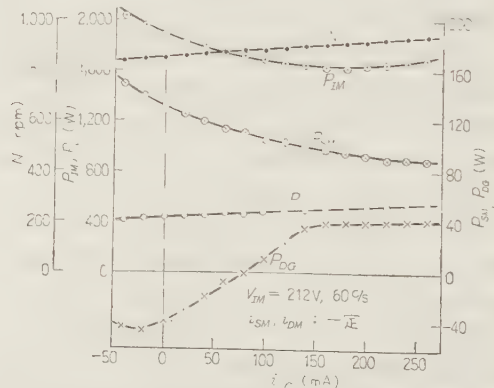
(8.2) 差動歯車を用いたクレーマ方式

クレーマ方式の場合には、差動歯車の右側軸に同期電動機、直流発電機を歯数比 14/21 の歯車を通して接続、左側軸には直流電動機を直結、直角方向軸と誘導電動機は V ベルトで結合し、 $k=1$ の場合につき実験を行った。

第 15 図は、直流発電機の界磁電流に対する各部の電力などを示すものであるが、本方式の定出力特性および使用負荷の性質により広範囲の速度制御を行うことができなかった。第 16 図は負荷発電機出力に対する各部の電力などを示すものである。

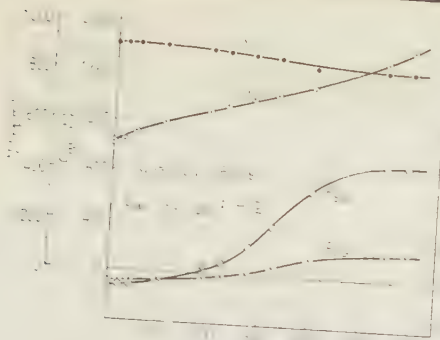
(8.3) 二次励磁誘導発電機を用いたセルピウス方式

実験は、シュラーゲ電動機で誘導発電機を駆動するようにして行った。第 17 図は誘導電動機の変えた場合の実験結果で、この場合にも、使用機器の損失のために二次電力を電源へ返還するまでにはいたっていないが、シュラーゲ電動機の入力 P_{CM} が $s \approx 0.5$ において最大と



(記号説明は第 12 図参照)

第 15 図 差動歯車を用いたクレーマ方式 対 i_{DG} 特性 ($k=1$)



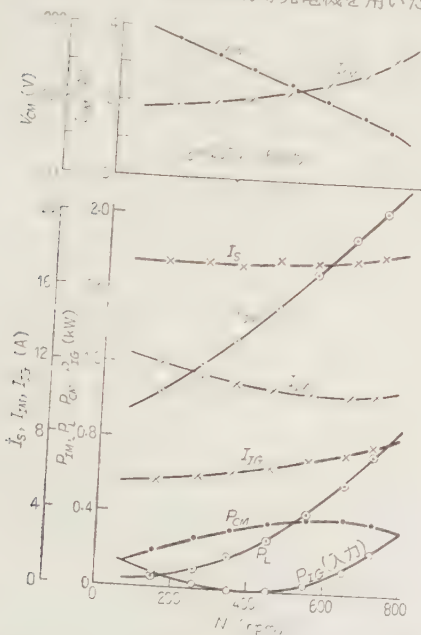
記号説明は第 12 図参照)
第 16 図 差動歯車を用いたクレーマ方式
対出力特性 ($k=1$)

なり、誘導電動機の入力 P_{IM} の約 $1/5$ となっていることが確かめられた。(理論上は $1/4$ であるが誘導電動機の損失のため小さくなっている) 第 18 図は誘導電動機の入力に対する諸量の变化を示すものである。

9. む す び

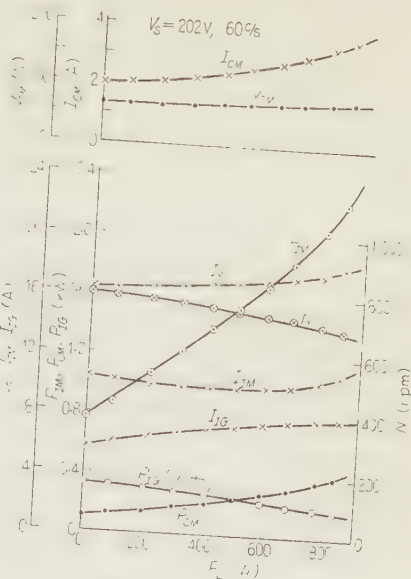
以上、誘導電動機の二次励磁速度制御方式に関し、補助の機械の容量を小さくする方法について述べた。

このうち、定トルク特性を有する差動歯車を用いたセルビウス方式、二次励磁誘導発電機を用いたセルビ



P_{IM} , P_L , I_{IM} , N : 誘導電動機の入力, 出力, 電流, 回転数, P_{CM} , I_{CM} , V_{CM} : シュラゲ電動機の入力, 電流, 電圧, P_{IG} , I_{IG} : 誘導発電機の入力 (出力であるべきもの), 電流, V_s , I_s : 電源電圧, 電源の全電流

第 17 図 二次励磁誘導発電機を用いた
セルビウス方式対 速度特性



(記号説明は第 17 図参照)
第 18 図 二次励磁誘導発電機を用いた
セルビウス方式対 出力特性

ウス方式の両方式は、ともに従来の方式にくらべずがれていることはもちろんであるが、これらの方式相互について比較すれば、制御範囲が $0 < s < 0.5$ では差動歯車使用の方式が小容量の直流機でよく、($k > 2$ にとる) 設備容量もわずかに少なくよい。制御範囲が $s = 0.5$ をこえる場合には、二次励磁誘導発電機使用の方式が設備容量小となり有利である。また、二次励磁誘導発電機を用いた方式においては、誘導発電機の駆動を交流整流子電動機で行うことができる。これもこの方式の利点であろう。

次に差動歯車を用いたクレーマ方式であるが、この方式では、 $s = 1$ まで速度制御を行うことができないという欠点がある。しかし、 s の小さな範囲で速度を制御する場合には直流発電機、直流電動機が小容量でよいので従来の方式にくらべ有利である。

これらの二次励磁速度制御方式は、すべり s の大きい低速においても速度変動率が小さく、また任意の速度で容易に再生制動を行うこともできる。

したがって、今後、各種産業の動力源としてこれらの方式が広く使用されるようになるものと思われる。

終りに、終始ご協力いただいた中村浩氏に厚くお礼を申し上げ、卒業研究として協力された山崎善文氏、奥村正昭氏、春原邦夫氏および中村富家氏に感謝いたします。(昭和 35 年 2 月 9 日受付, 同 6 月 15 日再受付)

UDC 621.316.923.014.1:536.21

ヒューズ線の温度上昇と電流-時間特性*

資料論・文

35-90

正員 川 添 敏 信†

正員 菊 地 正††

1. は し が き

ヒューズに過負荷電流または短絡電流が流れ始めてから切断あるいは気化し断するまでの時間と電流の関係を、電流-時間特性といい、ヒューズにとってもっとも重要な特性の一つである。特に通信用ヒューズにおいては鋭敏な過負荷保護特性を要求される場合が多く、また最近では電力用ヒューズにおいてもその相互協調が問題になってきたので、この特性は今後ますますその重要性を増すものと考えられる。

ヒューズの電流-時間特性に関する研究は古くから多くの人々により行われ、Liempt 氏ら、⁽¹⁾ Gibson、⁽²⁾ Lapple、⁽³⁾ Löhausen、⁽⁴⁾ Wilson⁽⁵⁾ 氏らは熱放散を考慮に入れない場合、すなわち短絡電流が流れた直後 $t \approx 0$ 付近で溶断する場合につき理論計算を行った。たとえば Liempt 氏らによれば、次式の関係が与えられている。⁽¹⁾

$$t = Ci^{-2} \dots\dots\dots (1)$$

ただし i : 短絡電流, t : 溶断時間, C : ヒューズの構造で決まる定数

熱の放散を考慮した場合については、Grünberg、⁽⁶⁾ Cohn、⁽⁷⁾ Jasse、⁽⁸⁾ Wilson、⁽⁹⁾ Freiburger、⁽¹⁰⁾ Liempt⁽¹¹⁾ 氏らが解析を試みているが、計算が複雑になるため、ヒューズ線の電気抵抗の温度係数を無視している。そのため、溶断時間 t がわずかに大きくなると実験値と合わない欠点がある。

一方実験式は Meyer、⁽¹²⁾ Edler、⁽¹³⁾ Prince 氏ら、⁽¹⁴⁾ Johann⁽¹⁵⁾ 氏らによって発表されている。たとえば

$$t = k(i^2 - i_0^2)^{-1} \text{ Prince 氏らの式}^{(14)} \dots\dots (2)$$

$$t = (a - bt^{1/3})(i - i_0)^{-2} \text{ Johann 氏の式}^{(15)} \dots\dots\dots (3)$$

いずれも電流の2乗に反比例する曲線であるから、 t が数秒以上に達すると、実験値とのずれが大きくなる。

以上のように、従来の研究は無張力ヒューズの場合

だけに限定されており、それもエネルギー計算が有効な大電流しゃ断におけるきわめて短時間の解析はほぼ実験を満足するが、切断時間が大きい場合についてはまだ充分理論的解明がなされていない。

一方、最近正確な電流-時間特性を必要とする用途が多くなったので、いわゆる張力ヒューズの要求が盛んになってきた。

本論文においては張力ヒューズの電流-時間特性を解明するにあたり、ヒューズ線を水平に取り付けた場合について論じたが、垂直に保持した場合は対流のため温度分布が変化し、中央部より上部に最高点ができ、その温度は水平の場合にくらべて高くなるので、電流-時間特性は当然変化する。しかしわが国では、電気工作物規定および日本工業規格が、ともに水平保持で電流-時間特性を規定していることと、対流の条件を入れて温度上昇を解くことは非常に複雑になるので省略する。いまヒューズ線の抗張力を τ_0 、それに作用する張力を τ とした場合に、 $0 \leq \tau < \tau_0$ の全域にわたる電流-時間特性の一般理論について考察を試みた。

まずヒューズ線の温度上昇の計算に電気抵抗の温度係数を入れた基礎方程式を立て、これをラプラス変換を用いて解き、実測に近い解を求めた。

次にこの解に必要な諸定数を入れて得られるヒューズ線の温度上昇曲線 (u を温度上昇とする)

$$u = f(t) \dots\dots\dots (4)$$

と、材質によって定まる抗張力-温度曲線

$$\tau = \eta(u) \dots\dots\dots (5)$$

とから、作図によって電流-時間曲線

$$t = h(i) \dots\dots\dots (6)$$

を求める図式解析法を提案する。この方法は物理的意味が明かで、一般性が高い特徴があり、実験的に検討したところ、クリープや酸化の影響が出てこない範囲では、充分満足できる結果が得られた。

著者の一人は先に張力の作用するヒューズ線の電流-時間特性に関するクリープ論的な考察を行い、⁽¹⁶⁾ β 黄銅について次の実験式⁽¹⁷⁾ を発表した。本論文はその拡張を行うとともに欠点を補正したものである。

$$i = \{51 + 23 \exp(-0.049\tau)\}$$

* Temperature Rise and Current-time Characteristics of Fuse Wire. By T. KAWAZOE, Member (Nippon Seisen Co. Ltd.) & T. KIKUCHI, Member (Department of Electrical Engineering, Tohoku University).

† 日本製鋼株式会社

†† 東北大学工学部電子工学科教授

$$\times \left\{ \exp \frac{d}{l} \left(\frac{15.8}{5.72 + \tau} \right) \right\} d^{3/2} \dots\dots\dots (7)$$

ここに i : 切断電流 (A), d : ヒューズ線の直径 (mm), l : ヒューズ線の長さ (mm), τ : 作用張力 (kg/mm²)

2. 理論的考察

(2.1) 温度上昇の解析 熱伝導の基本式は、周囲温度を基準にとった温度上昇 u に対して、付録に論じたように次式で与えられる。〔付録(1) 参照〕

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \kappa^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - b^2 u + Q_0 \dots\dots\dots (8)$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} \kappa^2 &= k/c\rho, \quad b^2 = (Ep - w_0\alpha)/c\rho s \\ Q_0 &= w_0/c\rho s, \quad w_0 = 0.24 i^2/\sigma \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots \text{Sa}$$

ここで、ヒューズ線の物理定数は次のごとくである。

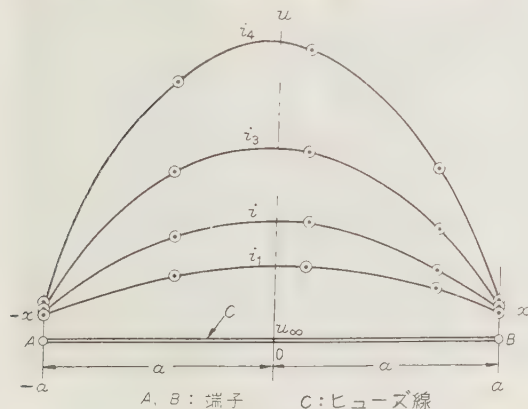
すなわち σ : 導電率, ρ : 密度, c : 比熱, α : 電気抵抗の温度係数, k : 熱伝導率, s : ヒューズの断面積, p : 周囲の長さ, E : 表面の単位面積、単位時間、単位温度差あたりの放熱量すなわち表面熱放散係数である。

(7) 式の方程式を第1図のように、間隔 $2a$ の A , B 両端子間に水平に張られたヒューズ線 C に、電流 i が流れる場合につき解くのであるが、ヒューズ線に発生するジュール熱の一部は表面および両端子を通じて失われるから、その温度分布は図示のように両端では低く中央部では最大値をとる。ヒューズの両端では温度が一定で、両端に等しいと仮定し、座標 x をヒューズの軸にとり、その中央部を原点にとれば、境界条件として

$$\left. \begin{aligned} u_{x=a} &= u_{x=-a}, \quad t=0 \\ u_{x=a} &= u_{x=-a}, \quad t=\infty \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

電流の流れ始める前は、ヒューズ線の温度が周囲温度に等しいとすると、初期条件は

$$u|_{t=0} = u(x, 0) = 0 \dots\dots\dots (10)$$



第1図 ヒューズ線の温度上昇分布

(8)~(10)式を解くためラプラス変換を用いる。

すなわち

$$Lu(x, t) = U(x, s) \dots\dots\dots (11)$$

とおけば、(10)式の条件のもとに、(8), (9) 両式は

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - (b^2 + s)/\kappa^2 \cdot U + Q_0/(\kappa^2 s) = 0 \dots\dots\dots (12)$$

および

$$U(a, s) = U(-a, s) = 0 \dots\dots\dots (13)$$

(12) 式の一般解は

$$\begin{aligned} U &= Q_0/s(s+b^2) + A \exp \frac{\sqrt{s+b^2} x}{\kappa} \\ &\quad + B \exp \frac{-\sqrt{s+b^2} x}{\kappa} \end{aligned} \dots\dots\dots (14)$$

これと (13) 式から

$$A = B = 2Q_0/\{s(s+b^2) \cosh a\sqrt{s+b^2}/\kappa\} \dots\dots\dots (15)$$

定常状態では

$$\lim_{t \rightarrow \infty} su = \lim_{s \rightarrow 0} sU = \frac{Q_0}{b^2} \left[1 - \frac{\cosh x b/\kappa}{\cosh a b/\kappa} \right] \dots\dots\dots (16)$$

上式は定常状態の温度上昇分布を与える。

ヒューズ線の切断には中央部の過渡温度上昇が問題になると考えて、 $x=0$ における状態のみを論ずることにする。(14), (15) 両式より

$$\begin{aligned} U(0/s) &= [Q_0/s(s+b^2)] \\ &\quad \times \left[1 - \frac{1}{\cosh a\sqrt{b^2+s}/\kappa} \right] \end{aligned} \dots\dots\dots (17)$$

これを逆変換して時間領域にもどすと

$$\begin{aligned} L^{-1} U(0, s) &= u(0, t) \\ &= \frac{1}{2\pi j} \oint \frac{Q_0 \varepsilon^{st}}{s(s+b^2)} \left[1 - \left(\cosh \frac{a\sqrt{b^2+s}}{\kappa} \right)^{-1} \right] ds \end{aligned} \dots\dots\dots (18)$$

これより

$$\begin{aligned} u(0, t) &= \frac{Q_0}{b^2} \left[1 - \frac{1}{\cosh ab/\kappa} - \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{2n+1} \right. \\ &\quad \times \left. \frac{\exp[-b^2 t \{ 1 + (\pi/2)^2 (\kappa/ab)^2 (2n+1)^2 \}]}{1 + (\pi/2)^2 (\kappa/ab)^2 (2n+1)^2} \right] \end{aligned} \dots\dots\dots (19)$$

また付録に示すように

$$\begin{aligned} \frac{1}{\cosh ab/\kappa} &= 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{2n+1} \\ &\quad \times \frac{1}{1 + (\pi/2)^2 (\kappa/ab)^2 (2n+1)^2} \end{aligned} \dots\dots\dots (20)$$

(19) 式に (20) 式を入れ、かつ

$$(\pi/2)(\kappa/ab) = \gamma \quad \dots\dots\dots (20')$$

とおけば

$$u(0, t) = \frac{Q_0}{b^2} \cdot \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \times \frac{1 - \exp\{-b^2 t \{1 + (2n+1)^2 \gamma^2\}\}}{1 + (2n+1)^2 \gamma^2} \quad \dots\dots\dots (21)$$

上式で $t=0$ 付近では $|x| \ll 1$ に対する $\exp(-x)$ の近似式 $\exp(-x) = 1 - x$ を用いて展開すると、

$$u(0, t) \sim \frac{Q_0}{b^2} \cdot \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \cdot \frac{b^2 t \{1 + (2n+1)^2 \gamma^2\}}{1 + (2n+1)^2 \gamma^2} = Q_0 t \cdot \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} = Q_0 t \quad \dots\dots\dots (22)$$

温度上昇の初期において、ある一定の温度上昇 u_0 に達するまでの時間 t_0 と電流 i_0 との間には、上式より

$$t_0 = u_0 Q_0^{-1} = c i_0^{-2} \quad \dots\dots\dots (23)$$

ただし c ：定数

の関係が与えられる。これは当然のことながら伝導放射を無視した従来周知の関係式である。

(2・2) 電流-時間特性の図式解析法 次いで以上の結果の(21)式を利用して、ヒューズ線の切断電流

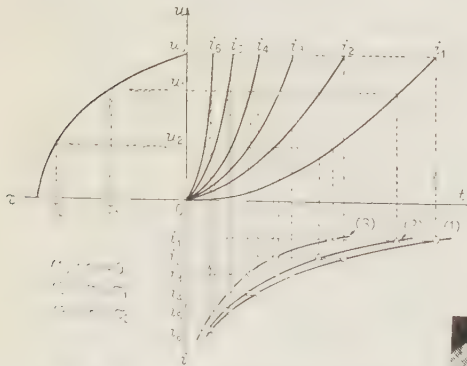


図 2 (4) 電流-時間特性の図式解析法

対時間特性を求める図式解析法を提案しよう。すなわち(21)式にヒューズ線および周囲条件によって決まる定数を入れ、電流値 i_n をパラメータとした曲線

$$u = f(t) \quad (n=1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (24)$$

を第1象限に $t-u$ 曲線として描く。(第2図) 次、第2象限にそのヒューズ線の材質および熱処理などによって決まる抗張力と温度との関係「(5)式の関係」を、 $u-\tau$ 曲線として描く。この二つの関係から、 $i-t$ 曲線を求めるには

次のようにすればよい。

(a) $\tau=0$ の場合(張力を作用しないヒューズ線の場合) ヒューズ線の溶断温度はその材質の溶融点 u_0 に等しいので、 $u-\tau$ 曲線が縦軸と交わる点 u_0 から横軸に平行に引いた直線と $t-u$ 曲線との交点、 i_1, i_2, \dots, i_6 がそれぞれの電流における溶断時間を示すから、それらの交点から縦軸に平行に引いた直線と、第4象限において Oi_1, Oi_2, \dots, Oi_6 をそれぞれ i_1, i_2, \dots, i_6 の大きさを与えるようにし、それらの点より横軸に平行に引いた直線との交点を求め、それらの点を結ぶ曲線を描けば、これが求める電流-時間特性 $i-t$ 曲線(1)である。

(b) $\tau=\tau_1$ の場合(張力 τ_1 を作用させたヒューズ線の場合) ヒューズ線の切断温度は第2象限において τ_1 に対応する u の値 u_1 を $u-\tau$ 曲線より求め、縦軸上 u_1 なる大きさを与える点より、横軸に平行に引いた直線と $t-u$ 曲線との交点は、それぞれの電流値に対する切断時間を与えるから、これより前の場合と全く同様にして、第4象限に $i-t$ 曲線(2)が得られる。 τ の大きさが異なる場合も同様にして、 $i-t$ 曲線(3)が得られる。

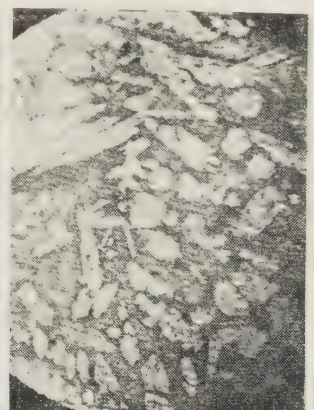
張力が働く場合のヒューズ線の電流-時間特性は上述のように、温度上昇曲線(4)式と抗張力-温度曲線(5)式の連立方程式を解くことにより得られるが、両者の関係は一般に非線形方程式であるので、上述の図式解析法は実用性が大きいと思われる。

3. 実験的検討

試料として Zn 43%, Cu 残部の $\alpha+\beta$ 黄銅を用いて実験した。試料の顕微鏡写真を第3図および第4図に、そのX線像を第5図に示す。第4図において白模様は α 相、黒地は β 相である。この図より本試料は



第3図 鋳造組織

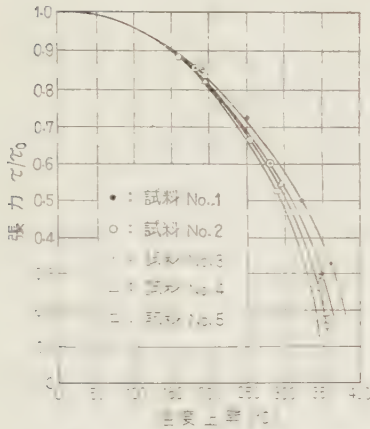


第4図 600°C, 5h 焼なました再結晶組織

No.19
Feko 35 kV 8 mA 3h exposed

Camera radius
27.67 mm

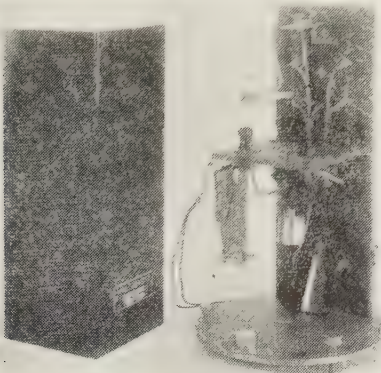
第 5 図 同一試料の X 線像



第 6 図 張力-時間特性の実測値

横なましを行った材料の切断位置を測定した結果、平均値が 86 g であった。これは、作用張力を算出すると 84 kg/mm² になる。切断位置のばらつきを考慮することによって実測した曲線を第 6 図に示す。図において明らかのように各曲線とも同一傾斜を示し、はらつきは試料が細線であることに原因する測定誤差と考えられる。

次に第 7 図に示す張力ヒューズの電流-時間特性測定装置において端子間距離を 10 mm とし、100 g のおよび 600 g の作用張力を加えると、 $\tau/\tau_0 = 0.105$ および 0.63 になる。この場合で、0.105 に実測に通ずる作用張力の値に試すとい、 $\tau/\tau_0 = 0.105$ に通ずると、一般の材料ではヒューズ線にクリープが起り始めるの



第 7 図 張力ヒューズ電流-時間特性測定装置

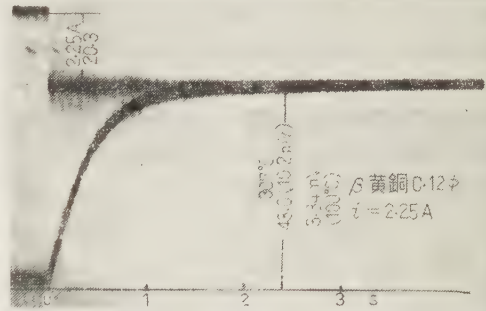
β 相を約 60 % 含む $\alpha + \beta$ 相黄銅であることがわかる。また第 5 図からも同様なことがわかる。この材料を直径 0.12 mm の線とし、350

で、作用張力としては限界に近い。おのおのの測定結果を第 9 図の第 4 象限にプロットする。○印は作用張力が 100 g、□印は 600 g の場合である。

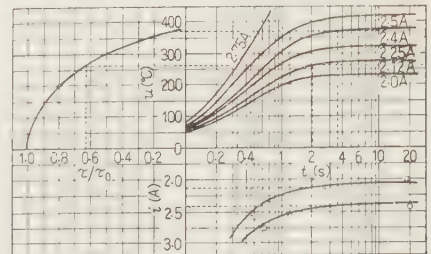
この例について前述の図式解析法により電流-時間曲線を求め、実測点と比較する。(21) 式を計算するため、次の数値を定数に用いる。

$a: 0.5 \text{ cm}$, $\gamma: 6.0 \times 10^{-3} \text{ cm}$, $p: 3.8 \times 10^{-2} \text{ cm}$, $s: 1.14 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$, $c: 0.115 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, $\rho: 8.48 \text{ g/cm}^3$, $\alpha: 2.2 \times 10^{-3}$, $k: 0.28 \text{ cal/cm s}^\circ\text{C}$

また $w_0 = 0.24 i^2 / \sigma$ において $\sigma^{-1} = 5.2 \times 10^{-2} \Omega/\text{cm}$ とし、熱放散係数 E は次の実験で求めた。すなわち、0.05 mm の純鉄線とコンスタンタン線をカップルにした熱電対温度測定装置の出力電圧を電磁オシログラフに加え、温度上昇の時間的变化を撮影記録し、これを分析して温度測定を行い、熱放散係数 E を定める。



第 8 図 温度上昇のオシログラム



○: $\tau/\tau_0 = 0.105$ ($\tau = 100 \text{ g}$) の場合の実測値の平均
□: $\tau/\tau_0 = 0.63$ ($\tau = 600 \text{ g}$) の場合の実測値の平均

第 9 図 作図曲線と実測値との比較

第8図は本試料に 2.25 A の電流を流した場合のオシログラムで、これより 307°C であることがわかる。したがって $E=7.23 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2$ となる。したがって電流値 i として 2.75 A, 2.5 A, 2.4 A, 2.25 A, 2.12 A および 2.0 A を代入して (21) 式を計算し、第9図の第1象限に記入する。次に第2象限に第6図より抗張力-温度曲線を移し、前章の方法で τ/τ_0 の値が 10.5% および 63% の場合について第4象限に電流-時間曲線を求める。

第9図より著者らの提案する電流-時間特性の作図曲線は実測点と傾向を同じくし、そのばらつきのバンドの中にはいる。さらに多くの場合について試みた結果、特に張力ヒューズとして使用に適する作用張力の範囲では、実用上満足できる精度で合うことを確かめ得た。

4. 結 言

ヒューズ線の電気抵抗の温度係数を考慮した温度上昇を、熱伝導方程式にラプラス変換を用いて解析し、次にこの解より求めた温度上昇曲線と抗張力-温度曲線より、電流-時間曲線を求める図式解法を提案した。この方法は、ヒューズ線に働く作用張力が抗張力以下の全域にわたって成立するので、張力を作用させたヒューズ線の電流-時間曲線の変化するありさまを連続的に見ることができる。本研究によって、従来はその物理的意義のはあくが困難であったヒューズ線の電流-時間特性の発生機構を明らかにし得たので、ヒューズ設計上の基礎を与え、またヒューズ線材料に対する要求を明確にすることができた。(昭和 34 年 7 月 15 日受付, 同 35 年 7 月 5 日再受付)

文 献

- (1) J. A. M. Van Liempt u. J. A. de Vried: Z. Phys. **98**, 133 (1935)
- (2) J. A. Gibson: J. Instn. Elect. Engrs. **88**, Pt. 2, 593 (1941)
- (3) H. Lapple: Elektrotech. Z. (E. T. Z.) **58**, 369, 426 (1937)
- (4) K. A. Lohausen: Elektrotech. Z. (E. T. Z.) **59**, 222 (1938)
- (5) W. Wilson: World Power **25**, 8, 84, 138 (1936)
- (6) L. Grünberg: J. of Phys. U.S.S.R. **4**, 463 (1941)
- (7) A. Cohn: Elektrotech. Z. (E. T. Z.) **51**, 233 (1950)
- (8) E. Jasse: Elektrotech. u. Maschinenbau **28**, 999, 1030 (1910)
- (9) W. Wilson: World Power **25**, 8, 84, 138 (1936)
- (10) R. Freiberger: Rev. g'en. Elect. **45**, 407 (1939)
- (11) J. A. M. Van Liempt u. J. A. de Vried: Z. Phys. **93**, 100 (1935)
- (12) G. J. Meyer: Zur Theorie der Abschmelzsicherungen, München (1906)
- (13) R. Edler u. R. Schuster: Elektrotech. u. Maschinenbau **28**, 619, 641 (1910)

- (14) D. C. Irwin & E. A. Williams, Jr.: Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs **58**, 11, Disc. 15 (1939)
- (15) H. H. Johann: Elektrotech. Z. (E. T. Z.) **58**, 684 (1937)
- (16) 川添: 昭 31 東京支部大会 69
- (17) 川添: 昭 32 進大 369
- (18) 川添・柄沢: 昭 27 東京支部大会 3, 20
- (19) W. Wintergerst: Z. für ang. Phys. **11**, 167 (1950)
- (20) P. C. Jacobs Jr.: Trans. Amer. inst. Elect. Engrs **75**, Pt. 3, 988 (1956)
- (21) E. B. Carne: Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs **75**, Pt. 3, 593 (1956)

付 録

(1) 基礎方程式 付第1図においてヒューズ線

の断面積を s とし、熱流は、その軸方向 x 方向にのみ流れるとすれば、各点の温度 u' を x と時間 t の関数として、 x と $x+dx$ の部分に流入する熱量は

$$\frac{\partial}{\partial x} (ks \frac{\partial u'}{\partial x}) dx \quad \text{..... (付 1)}$$

x と $x+dx$ との間の部分で空気中に散逸される熱量は

$$E \cdot p(u' - u'_{00}) dx \quad \text{..... (付 2)}$$

ただし、 u'_{00} は周囲温度とする。 dx の部分より発生する熱量は、単位長、単位時間あたりの発熱量を Q' として、 $Q'dx$ で表わされる。

dx の部分にはいる熱量は

$$\frac{\partial}{\partial x} (ks \frac{\partial u'}{\partial x}) dx - Ep(u' - u'_{00}) dx + Q'dx \quad \text{..... (付 3)}$$

これが dx の部分の温度を高める作用をするから、上式を $c\rho(\partial u'/\partial t)sdx$ に等しいとおき、 k が x に無関係であるとして次式が導かれる。

$$\frac{\partial u'}{\partial t} = \frac{k}{c\rho} \cdot \frac{\partial^2 u'}{\partial x^2} - \frac{Ep}{c\rho s} (u' - u'_{00}) + \frac{Q'}{c\rho s} \quad \text{..... (付 4)}$$

ヒューズ線の場合には

$$Q' = w_0 [1 + \alpha(u' - u'_{00})] \quad \text{..... (付 5)}$$

$$w_0 = 0.24 i^2 / \sigma \quad \text{..... (付 6)}$$

であるから、 $u' - u'_{00} = u$ とおくと、温度上昇に関して

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \kappa^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - b^2 u + Q_0 \quad \text{..... (付 7)}$$

ただし

$$Q_0 = w_0 / c\rho s, \quad \kappa^2 = k / c\rho, \quad b^2 = (Ep - w_0 \alpha) / c\rho s$$

(2) $1/\cosh(ab/\kappa)$ の有理分数表示 まず $1/\cosh x$ について考える。この関数の極は $x_n = j(\pi/2)(2n+1)$, $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots, x_n$ における留数は

$$\frac{1}{\frac{\partial}{\partial x} \cosh x \Big|_{x=x_n}} = \frac{1}{\sinh x_n} \dots\dots\dots (\text{付 8})$$

しかるに

$$\sinh x_n = \sinh j \pi \cdot 2 \cdot 2n+1 = j \pi \dots\dots\dots (\text{付 9})$$

ゆえに

$$\frac{1}{\sinh x_n} = -j \pi \cdot 2 \cdot 2n+1 = A_n \dots\dots\dots (\text{付 10})$$

Mittag-Leffler の公式

$$f(x) = f(0) + \sum A_n \left\{ \frac{1}{x-x_n} + \frac{1}{x_n} \right\} \dots\dots\dots (\text{付 11})$$

を適用すると

$$\frac{1}{\cosh x} = 1 + \sum_{n=-\infty}^{\infty} -j(-1)^n$$

$$\times \left\{ \frac{1}{x-j\frac{\pi}{2}(2n+1)} - \frac{1}{j\frac{\pi}{2}(2n+1)} \right\} \dots\dots\dots (\text{付 12})$$

$$= 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{(2n+1)}$$

$$\times \frac{1}{1 + (\pi/2)^2 (1/x)^2 (2n+1)^2} \dots\dots\dots (\text{付 13})$$

したがって

$$\frac{1}{\cosh(ab/\kappa)} = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n$$

$$\times \frac{1}{2n+1} \frac{1}{1 + (\pi/2)^2 (\kappa/ab)^2 (2n+1)^2} \dots\dots\dots (\text{付 14})$$

UDC 621.313.322.044.53: 621.316.729: 621.3.062.12

埴野・上之園・上之藺の「突極形同期発電機強制並列時の同期引き入れ現象について」*に対する討論

誌上討論

35-4

正員 乗 松 立 木†

小生も先の討論者⁽¹⁾の村山義夫氏らと協同で同種の問題を研究したことがあるので、貴論文を大変興味深く拝見いたしました。⁽²⁾特に大形機による詳細な実験結果は、いままでほとんど発表されていないようでもありますから、貴殿らの貢献は特に大きいものと思われます。大局的な討論はすでに清水、村山両氏⁽¹⁾によってなされているので、主として細部について、質疑討論をいたしたいと思います。

(1) 第1図と第2図とはどういう関係にありますか。第1図は本論文において特に必要であるとは思われませんがいかがでしょうか。

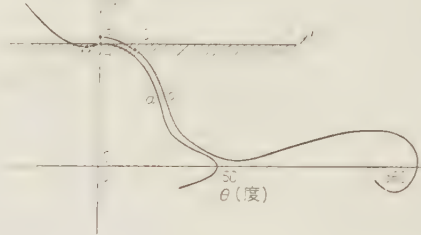
(2) 第4図における発電機のデータまたは第1図ないし第6図との対応はいかがでしょうか。

(3) 本論文174ページ右下から3行に P_d の平均とありますが、どのようにして曲線2 (第3図) の平均値を求めたのでしょうか。

(4) 本論文175ページ左下から2行において「全く異なった形状」とありますが、「大体似かよった」といったほうが適切と思われますがいかがでしょうか。

(5) 本論文175ページ右下から14行「強制並列の最適条件、すなわち発電機を並列する際の良好な初期条件を決定……」とあり、また176ページ右上から5~11行「……限界すべりとの間のすべり範囲を、強制並列実施時の最適なすべり範囲とし、……」とありますが、討論者はここで、最適という言葉を使用するのはあまり適当ではないと考えております。太字で書いてある後者の言葉の意味でいうならば、好適または適切条件 (Favorable condition) といったほうがよいのではないかと思いますがいかがでしょうか。

(6) 限界すべりの定義が177ページ右上から1行以下にありますが、この定義はいくぶんあいまいであると考えられます。というのは、討第1図 (本文第8図参照) で、 a を限界曲線とすると、 OA が限界すべりであり、 $\theta=0$ で OA より大きいすべりの点 B から出発する曲線 b は、すべり現象によって $\theta=360^\circ$ の点に落ち着く。そうすると曲線 b 上の C 点は貴論



討第1図

文の定義によって、最適条件内の点であるので、定義に矛盾が起ります。また、 a 曲線の M 点が AX' (OX に平行) 線の下にあれば、最適条件においてもすべり現象が生じます。定義によると、最適条件は上、下の限界すべりの間にある平行帯となるはずですがこの点について、第18図の領域は矛盾しておりますがいかがでしょうか。

(7) 第1図および第15図において、相互に一貫性があると、さらに研究結果が有効になるのではないのでしょうか。また図に説明がつけてあると大変読みよくなると存じます。

(8) 第4章の説明は抽象的すぎてわかりにくいと思われます。(1)式において $P_L=0$ とし、適切にユニット化すると、さらに界磁が励磁された後では、電源リアクタンスを無視すると、パラメータが4個、すなわち比制動係数、比リアクショントルク係数、 I_a 、界磁時定数 T となります。 $T=0$ のときは、限界曲線は位相面上に比較的簡単に描けますから、それによって、同期引き入れ過程におよぼす各パラメータの影響がかなり明確に頭にはいると思われます。 T が零でないときには、問題はかなりむずかしくなりますが、文献(2)のように $T=0$ のときと対比して、限界曲線を表現すると比較的わかりやすくなると考えられます。いかがなものでしょうか。

文 献

- (1) 村山: 電学誌80, 182 (昭35)
- (2) 乗松・村山・木沢・佐伯・茂木: 電学誌77, 890 (昭32)

* 第80巻、第2冊、第857号、172ページ掲載

† 電気試験所

乗松氏の討論に対する回答

正員 埴野 一郎^{†1} 正員 上之園親佐^{†2} 正員 上之蘭 博^{†3}

私どもの、つたない論文に対して非常な関心を持たれ、細部にわたるご討論ならびに誤植のご指摘をいただき深く感謝しております。以下、乗松氏のご意見の順序にしたがい、私どもの考えを述べます。

(1) 第1図、第2図はともに界磁巻線を放電抵抗で短絡した場合の回転子すべりに対する制動トルクの変化を示しており、第1図は定格電圧において放電抵抗値を変化させたときの模様を、第2図は1/2 定格電圧、放電抵抗 20Ω の場合の実験値と、(3) 式による計算結果とを比較したものであります。

(2) 第4図の発電機は制動巻線無しの場合で、投入から 0.05 s 間は 20Ω の放電抵抗で界磁巻線が短絡された状態、0.05 s 以後は有励磁の状態となったものであります。また第1図ないし第6図はすべて第1図に示されている発電機について、実測および計算を行った結果であります。

(3) 第3図において、あるすべりの範囲の現象だけに着目する場合の P_d の平均値は、次式で示されます。

$$P_{d(\text{平均})} = \frac{\int_0^{S_0} P_d(S) dS}{S_0}$$

$P_d(S)$: すべりの関数で表示された制動係数

S_0 : いま考えようとするすべりの最大値

(4) 同期過程の周波数偏差、相差角偏差の相違、ならびに相差角 45° 付近のリアクシントルクの影響の受け方を強調して「全く異なった形状」という表現を用いた次第です。

(5) 強制並列により同期化される発電機の現象を規制する要素は数多くありますが、一応制御できるものといえば、投入時のすべりと、 P_L だけになります。したがって強制並列の条件として投入時のすべりを考えるのがもっとも妥当であります。乗松氏の指摘されているように、最適条件とは唯一的なものであって、私どもの主張するような幅のあるものでないというこ

とは理解できますが、強制並列を適用する場合の範囲を提示する際の表現としては、最適条件と称したほうが明確であり、かつまた、この条件内のすべりでの投入に対する同期化は、同程度の評価が行い得ることになります。内容的にはご指摘のとおりかも知れません。

(6) 私どもの定義では、相差角 $-360 \sim 0^\circ$ の範囲で並列が行われたとき、磁極が 0° に収れんするということを前提として、この場合の最小すべりを限界すべりとしているわけです。したがって、ある相差角では限界すべり以上のすべりで並列が行われても 0° に収れんする場合が当然生じます。ご指摘の第18図の領域は 0° に収れんする範囲と考えていただければ矛盾は生じないと存じます。

(7) 第1図～第15図はいずれも本論文172ページに記載した22.5 kVA 発電機について検討したもので、定格ならびに定数は第1図に記したとおりです。

(8) 乗松氏らの論文は $T=0$ の場合について、 K と γ が同期位相面にどのような影響を与えるかを検討されており、興味深く拝見しましたし、私どもの論文でも参考にさせていただきました。しかし、私どもの取り扱いました強制並列では、界磁回路時定数 T が同期過程に重要な意義を持っております。たとえば $T=0$ として各相差角に対する限界すべりの値を求めていきますと、リアクシントルクを無視した場合、 180° における限界すべりが一番小さくなります。このことは乗松氏らの論文にも示されておりますが、界磁回路時定数を考慮しますと、制動トルクの効果が非常に有効に働くため、限界すべりは大幅に増加します。いいかえれば、同期化トルクが確立するまでに、急速に同期速度付近にまで加速されるということであります。

したがって、私どもは常に時定数を考慮して解析を進めましたので、ご指摘のような抽象的表現となった部分もあるわけであります。

^{†1} 早稲田大学第一理工学部電気工学科教授、送配電工学担当

^{†2} 電力中央研究所技術研究所第一部機器研究室、電気機器、超高压担当

^{†3} 同上研究所機器研究室、回転機担当

UDC 621.3.015.34(083.74):621.317.333.82

試験電圧標準特別委員会報告

報 告

35-12

試験電圧標準特別委員会[†]

試験電圧標準特別委員会は

(1) 従来機器の試験電圧規格は、それぞれの時期にそれぞれの機器別委員会で調査されて制定されたもので、その相互間には必ずしも一貫性がないので調整を図る。

(2) 試験電圧に関し、IEC との協調を図る。

(3) 電圧標準特別委員会で定める電圧の規格に対応する試験電圧値を選定する。

などを目的として昭和 30 年 4 月発足、種々検討の結果、一部の懸案事項を残して一応の成案を得たので、その概要を報告する。広く会員各位の意見を求め規格化に進みたい。

本委員会が試験電圧値の調査にあたり採択した基本方針は次のとおりである。

(1) 原則として試験電圧値に機種別の差異は設けない。この原則は IEC の Recommendation にも現われている。

(2) 屋内外別、塩じん害の有無など外的使用条件に対しては、試験電圧値自体は変えず、これらの外的条件を考慮した試験条件によってカバーする。

なお本委員会は現行のプラクティスとの調和を図るため、調査にあたり次の措置をとった。

(1) 基準衝撃絶縁強度の数値は現行どおりとし、衝撃電圧試験値 (kV) はこの値に一致させる。

(2) 非有効接地系では一つの公称電圧に対しては、ただ一つの絶縁階級を対応させる。ただし有効接地系については、必ずしもこの限りではない。

(3) 原則として一つの基準衝撃絶縁強度に対しては、ただ一つの商用周波試験電圧値を対応させる。

1. 範 囲

(1・1) 機器の種類 コンデンサ形計器用変圧器および結合用コンデンサなどを含む一般電力機器を対

象とする。ただし、電機設備、電力設備、電力設備、電力設備などは、これに含まれていない。

(1・2) 試験電圧の種類 衝撃電圧および商用周波数電圧を対象とする。いわゆる中間周波数電圧（または緩波頭サージ）については、将来は規格化が検討されるべきであるが、現段階では対象から除外した。

(1・3) 寿命試験 寿命試験については、規格化するためには現在まだ十分な資料がないので、本委員会としてはとり上げないこととした。

(1・4) 電圧階級 現行公称電圧 3~200 kV の範囲とし、3 kV 未満は審議対象から除外した。なおいわゆる超高压および 10 kV と 20 kV の間の中間レベルについては、電圧標準特別委員会の審議が未了であるので、その結論を待つことにし見送った。

2. 試 験 電 圧 値

(2・1) 試験電圧値制定の基本的考え方

(1) 原則として試験電圧値に機種別の差異は設けない。

(2) 基準衝撃絶縁強度の数値は現行どおりとする。

(3) 基準衝撃絶縁強度の数値と衝撃電圧試験値 (kV) は一致させる。

(4) 非有効接地系では一つの公称電圧に対しては、ただ一つの絶縁階級を対応させる。ただし有効接地系については、必ずしもこの限りではない。

(5) 一つの基準衝撃絶縁強度に対しては、ただ一つの商用周波試験電圧値を対応させる。

(2・2) 試験電圧値 試験電圧値は第 1 表のとおりとする。なお参考までに現行 JEC および IEC との比較を付表に掲げた。

(2・3) 第 1 表の適用にあたり特に考慮すべき事項

(1) 絶縁階級 30 号以下については低レベルを設けた。その適用基準は現在作成中である。

(2) 線路用結合用コンデンサで、60~140 kV の非有効接地系に使用するものの衝撃試験電圧値 (kV) は、基準衝撃絶縁強度の 120% を推奨する。

3. 試 験 条 件

屋内外別、塩じん害の有無など外的使用条件が変化

[†] 委員長 福田節雄(東大)、幹事 高木利夫(東電)、吉山博吉(日立)、委員 池田三郎(電試)、小沢健一(明電)、加藤金一郎(電機工業会)、加藤義春(中部電力)、木村久男(三菱電機)、高村善博(公益局)、新宮行太(朝日電器)、三好義太郎(東芝)、武居 功(電装)、大数 進(九州電力)、宗宮知行(慶大)、谷崎義一(日立)、築地一雄(中国電力)、武田 新(電機工業会)、水谷明蔵(富士電機)、吉山順二(電中研)、田中直治郎(東電)、山根 宏(関西電力)、六角英通(東北大)、藤高周平(東大)、大河原 旭(東北電力)、鳳 誠三郎(東大)、村田八東(日碑)、法貴四郎(科技庁)、田 晃(電試)、幹事補佐 清野知士(日立)、藤森知雄(東電)、内山光彦(東電)

第 1 表 試験電圧改訂案

公称電圧 (kV)	絶縁階級 (¹⁾)	基準衝撃絶縁強度 (kV)	衝撃試験電圧 (kV)	適用周波数 試験電圧 (kV)
3	3	45	45 (30)	16 (10)
6	6	60	60 (45)	22 (16)
10	10	90	90 (75)	28
20	20	150	150 (125)	50
30	30	200	200 (170)	70
40	40	250	250	95
50	50	300	300	120
60	60	350	350	140
70	70	400	400	160
	<80>	<450>	<450>	<185>
100	100	550	550	230
	<120>	<650>	<650>	<275>
140	140	750	750	325
	<170>	<900>	<900>	<395>
200	200	1,050	1,050	460

注(1) < >内は基準絶縁階級である。
内は低レベルである。

しても、試験電圧値は第 1 表のとおりとし、外的条件に対してはそれを考慮した試験方法を適用する。

本試験方法確立の第一歩として、閃絡電圧専門委員会に汚損注水試験法について調査研究を依頼したところ、大要

(a) 注水固有抵抗に対するフラッシュオーバー電圧特性は供試品の種類により相当異なり、かなりの変動範囲をもっているが、現在の標準プラクティスを大幅に変えないという条件のもとで、第 1 表に記した試験電圧に耐える注水固有抵抗の最低限度の大略の値は、交流フラッシュオーバーの場合 5,000 Ω cm、衝撃フラッシュオーバーの場合 1,000 Ω cm 程度である。

(b) 注水条件、表面状態の変化、電源インピーダンスの影響などのためばらつきがあり、すべての絶縁階級、機種に対し、一貫して適用しうる試験法を制定するのは現在のところ困難のようである。

との回答があった。(詳細は技術報告第 41 号参照)

本委員会ではこの回答に基づき種々検討の結果、にわかに結論づけることは困難であるが、今後可能な限り 5,000 Ω cm を以て参考試験を行って、資料の集積を図ることとした。なお本委員会の最終報告ではこの点をさらに明確にし、規格化するか、もしくは少なくとも暫定規格化することにしたい。

4. 絶縁試験法

本委員会は衝撃電圧、交流電圧などによる絶縁試験法について調査することを適当と考え、そのために絶縁試験法小委員会を設置した。現在までの審議経過の概要は次のとおりである。

(4.1) JEC-110 “変圧器衝撃電圧試験標準規格”の改訂 改訂の主要点は次のとおりで、昭和 33 年

10 月に成案をえた。

(1) JEC-110 は変圧器に関する規格であったが、新たに直列機器に関する規格と、故障検出の重要性にかんがみ故障検出を追加し、規格の名称を静止誘導機器衝撃電圧試験標準規格と改め、規格の内容を第 1 編総則、第 2 編変圧器衝撃電圧試験、第 3 編直列静止誘導機器衝撃電圧試験、第 4 編故障検出とした。

(2) さい断波試験については、保護装置の信頼性が増してきたことから、使用者と製作者の協議によって省略してもさしつかえないことにした。

(4.2) 静止誘導機器の衝撃電圧試験における故障検出法の調査 本件については内外文献を調査検討し、その結果を技術報告第 37 号に発表した。

(4.3) JEC-106 “衝撃電圧試験一般”の改訂 昭和 34 年 10 月に改訂案を作成、“衝撃電圧・電流試験一般(案)”として電気学会関係委員会、電力会社、電気機器製造者、電機工業会などに送付し意見を求めている。改訂のおもな点は下記のとおりである。

(1) 第 2 編絶縁階級は試験電圧規格の判定に伴なってこれを廃止し、新たに衝撃電流試験を追加し、第 1 編衝撃電圧試験、第 2 編衝撃電流試験に改めた。

(2) 規約零点は波頭において波高値の 30% の点と 90% の点とを結ぶ直線が時間軸に交わる点とし、規約波形および波形の算出法を改めた。

(3) 標準波形のほか、特殊波形として $\pm(1 \times 5)\mu$ s、 $\pm(3 \times 40)\mu$ s、 $\pm(10 \times 40)\mu$ s などを追加した。

(4) さい断波に関する定義としてさい断点、さい断長、さい断しゅん度などを追加した。

(5) 試験の種類に波頭フラッシュオーバー試験、電圧波頭長曲線試験を追加した。

(4.4) JEC-107 “衝撃電圧測定法標準規格”の改訂 衝撃電圧波高計は従来使用されていないので廃止し、また棒ギャップによる測定は誤差が多いので準標準に格下げし、現在球ギャップによる電圧測定について審議中である。

(4.5) 油入変圧器のコロナ測定法の研究 内外の文献を調査する一方、コロナ測定法の実験的研究を進めるため、変圧器および測定器を準備中である。

5. そ の 他

電気協会電気施設技術基準調査委員会の依頼により、中性点直接接地系統の機器および電力回路の絶縁耐力について調査した結果、大要下記のように回答した。(詳細は技術報告第 41 号参照)

(a) 中性点直接接地系統の変圧器の絶縁耐力は、線路側端子に 0.72E (E は被試験変圧器の最高タップ

UDC 338.98 : 620.93

低開発国への技術協力について*

講 演

35 1

進 藤 武左衛門†

先般のバリ巨頭会談決裂以前は、1950年代の武力均衡を中心とする東西両陣営の対立した冷戦時代、また1960年代は北半球における工業先進国が、南半球にある低開発国に対する経済協力の競争時代といわれていた。巨頭会談の失敗によって、世界は再び冷戦へ逆もどりの心配はあるが、低開発国への経済協力競争はますます盛んになって、いくであろう。

すなわち世界はいまや軍備競争から経済競争へと、大転換の気運が作られていると考えられる。低開発国の援助も、米ソ両国を中心とする資本主義と社会主義の両面勢間の“平和的後進国援助競争”というべきだと考えられる。先般フルシチョフソ連首相の米国訪問後、両者が相ついで赤道をこえて南の国へ視察旅行に出立したのを皮切りに、去る3月9日から3日間、低開発国援助特別委員会がワシントンにおいて開催され、各国それぞれ低開発国援助の現況を語り合ったが、日本もこの会合に参加を決定し、島大使が出席した。その際低開発国の経済協力について活発な意見の交換が行われたとのことである。

これら自由主義国と社会主義国の“経済協力競争”とは別に、国連において従来後進国工業化問題について、各種の援助計画が実施されたが、昨年1月以降特別基金制度を発足させるなど、いっそう積極的活動をすすめた。

低開発国の援助はしばしば援助資金の多少と、援助の条件が問題にされているが、援助の方法としては、先進国の商品および資本の輸出市場開拓としての援助と、後進国の工業化を促進せんがための協力などがある。第二次大戦後独立をかけた東南アジア、中近東の諸国および従来から低開発国と考えられていた中南米の各国は、戦前は例外なく農業国家としてその国家経済を保持していたが、戦後は経済的にも独立国たらしめとして、国内資源を開発し、自国産業の確立を目指して急速に工業国家の建設に進進してきた。これらの国はいずれも蓄積資本が比較的少なく、技術水準も低く、その上政情が必ずしも安定していないために、必然的に工業先進国の資本と技術によって、工業化政策の実現を企図するのやむなき状態であった。先進国に

とつても、これら低開発国の工業化に援助協力することは、従来の動機が自国の貿易伸長策や、原材料の確保であつても、協力の結果は低開発国の経済発展をもたらし、国民生活の向上に寄与し、しいては世界平和を招来する途となるわけである。

ひるがえってわが国は、敗戦によって国上は戦前の6割に減少し、資源もまたきわめて貧困で、工業原料を大量に海外に依存しなければならないのであるから、(第1表参照)わが国にとつても低開発国への経済協力は、わが国経済発展の途であり、一面“低開発国への経済協力”という世界の潮流に倅すゆえんであるので、これに対し真剣の努力が払われねばならない。

第1表 重要原材料の輸入実績および計画

品目	単位	1955	1956	1957	1958	1962
鉄鉱石	Mt	5,459,458	7,869,496	9,466,536	7,613,774	16,055,000
	千ドル	81,539	146,519	205,650	123,105	273,000
銅鉱石	Mt	44,189	130,767	220,920	211,923	—
	千ドル	5,955	22,156	27,496	20,914	—
ボーキサイト	Mt	343,312	403,907	492,733	517,223	—
	千ドル	4,202	6,097	8,682	5,935	—
石炭	Mt	2,861,923	3,821,168	6,431,780	4,645,807	11,093,000
	千ドル	56,214	90,617	174,583	96,712	274,000
石油	kl	12,144,718	15,130,332	20,348,878	19,721,124	27,837,000
	千ドル	227,397	313,400	491,372	411,652	540,000
木材	CM	2,051,859	2,586,015	2,891,871	4,159,875	—
	千ドル	61,786	81,080	78,975	88,257	110,000

注：1955～58年は暦年、1962年は年度を示す。

資料：1955～58年は大蔵省通関統計、1962年度は経済企画庁資料

従来わが国では低開発国に対する経済協力問題は、掛け声の大なる割合に具体的施策に遺憾なう不十分で、欧米先進国にくらべ、著しく立ち遅れの感がある。本年にいたり海外経済協力基金の設定、低開発国援助特別委員会への参加、アジア経済研究所の特別法人化など、ようやく本格的動きを示してきたのは喜ばしいことである。

低開発国への経済協力の方法として、資本と技術がそのおもなる手段となることはいうまでもないが、技術協力は経済協力のバックボーンと称してさしつかえない。なかでも資本の少ないわが国にとっては、技術協力こそ海外への協力策として実現しなければならない。戦後わが国は進んで低開発国に輸出の素地を作り、あるいは原料確保のために、相手国の資源開発に参画するなど、緊密な経済関係の樹立に努力している。

* 通常総会における特別講演

† 国際技術協力協会

すなわち後進国における工業化政策の発展は、先進国自らの貿易政策とも一致するのであるから、技術の海外進出はこれらの国々にとっては対外政策の重要課題である。低開発国への技術協力は、常に相手国の立場に立って樹立されなければならないのはいうまでもない。特に戦後独立を勝ちえた東南アジア、中近東の各国は、産業国家主義的傾向が強く示されているので、単に自国の立場のみを中心とする協力は往々にして相手国から誤解を招き成功おぼつかない。したがって、常に相手国の計画内容、技術水準を検討し、その希望を充分考慮して万全の施策を樹立する必要がある。

たとえばソ連がインドネシアに与えた技術援助は、内容は工業化の基礎である鉄鋼の自主生産を始め、船舶不足の補充、化学肥料の生産、処女地開発の道路建設など、インドネシアの民族経済の発達に資するものが多い。これに反し従来西欧側の援助が、自国の市場確保や、投下資本の利潤を目的としたものであることはまことに對蹠的である。

わが国が現在までに後進国に対して実施してきた技術協力の方法は、おおよそ次のとおりである。

(a) 国連を通じて行う技術協力(例、ECAFEによるメコン河調査)、(b) コロンボ計画による技術協力、(c) 政府機関および関係諸団体を通して行う技術協力、(d) 民間ベースによる技術協力などであるが、これらはいずれも、(a) 海外からの研修生の受け入れ、(b) 技術指導者の海外派遣、(c) 海外技術センタの設置、(d) 技術コンサルタントの活動、(e) 技術の提携、(f) 企業の進出、

などの方法によって行っている。いまこれら各項の現状を概略述べれば、研修生の受け入れ中政府ベースによるものは、コロンボ計画、国連の各種機関、I.C.A. および相手国政府の要請によるものが多いが、わが国政府の方針によるものもある。実績は第2表に示すように、たとえば1958年度の受け入れ総数は486名で、うち農林水産業の50%、鉱工業の77%がおもなるものである。

すでに一昨年までにその数1,500名に達し、1959年度はさらに650名に増加した。中にはインドネシア国より賠償による受け入れも含まれている。本年度はさらに増加の見込みである。

民間ベースによるものは、政府ベースによるものよりも人数少なく、1958年の実績はわずかに60名、1959年度には110名とやや増加し、中でも鉄鋼業関係が多く、現在までに合計四百数十名を数えている。民間ベースによるものの多くは、プラント輸出による海外投資にともなうものに限られ、貿易振興および技

第2表 政府ベースによる要請機関別技術研修生

受入実績

(単位: 名)

要請機関	年				業 種			合計
	1954・4 ~1955	1956	1957	1958	農 水 産 業	鉱工業	その他	
コロンボ計画	1	32	68	92	77	50	80	207
国 連	8	7	22	62	68	12	19	99
I.C.A.	167	155	238	227	371	93	323	787
その他政府	34	111	99	105	142	86	121	349
合 計	224	305	427	486	608	241	693	1,442

術協力など国の政策によるものは少ない。

次に技術指導者の海外派遣は政府ベースによるものは、技術研修生の受け入れ同様、4ルートによって行われ、1958年度は60名、うち農林水産業70%で首位を占め、鉱工業30%がこれに次ぎ、特に家内工業的技術者の多いことは、低開発国の技術水準を示すものとみてよい。現在まで派遣された数は合計200名程度と思われるが、本年度はすでに海外技術者研修協会に対する申請が250名に達する状況である。過去の実績を示せば第3表のとおりである。

次に民間ベースによるものは1958年度に958名、うち鉱工業は65%で首位を占め、建設費、農水産業の順位となっている。昨年度は派遣者数さらに増加し、1,000名をはるかに突破したと思われる。第4表は過去の実績を示したものである。

本表で明らかなように、終戦後昨年度までに、すでに第3表 政府ベースによる要請機関別国別技術者および専門家派遣実績(1954年4月~58年12月)

(単位: 名)

派遣地	国 名	コロンボ 計 画	国 連		現地政府	合 計
			FAO	ILO		
東南 アジア	台 湾	—	—	—	1	1
	イ ン ド	18	—	—	3	21
	パキスタン	20	—	—	—	20
	セ イ ロ ン	57	—	—	1	58
	ヒ ル マ	—	—	—	5	5
	タ イ	22	—	1	3	26
	フィリピン	—	1	—	—	1
	ベ ト ナ ム	9	—	—	—	9
	カンボジア	8	—	—	—	8
	インドネシア	5	—	—	—	5
中近東	ネ パ ール	1	—	—	—	1
	マ ラ ヤ	8	—	—	—	8
	小 計	148	1	1	13	163
	シ リ ア	—	—	—	1	1
	イ ラ ン	—	—	—	2	2
その他	小 計	—	—	—	3	3
	ブラジル	—	—	—	1	1
	エチオピア	—	—	—	1	1
	小 計	—	—	—	2	2
合 計		148	1	1	16	168

注: 上記以外に I.C.A. によるカンボジア派遣技術者6名がある。

第4表 民間ベースによる年別業種別技術者および
専門家派遣実績 (1954年4月～58年12月) (単位: 名)

年	工業	鉱業	農林業	水産業	建設業	その他	合計
1954	388	6	11	17	10	1	433
1955	259	3	26	7	4	13	312
1956	262	24	38	17	14	9	364
1957	426	39	20	101	152	15	753
1958	534	66	53	63	190	52	958
合 計	1,869	138	148	205	370	90	2,820
比 率 (%)	66.3	4.9	5.3	7.3	13.0	3.2	100.0

に4,000名以上のこれら技術者が東南アジアを初め各地の低開発国でプラント輸出に伴う資源開発や、各種の技術的調査に従事したが、うち鉱工業関係技術者が70%なのは、注目すべきである。海外進出を希望する技術者のため、1958年5月より日本商工会議所内に斡旋所が設けられ、いっそう促進をみつつある。

低開発国の現地に、先進工業国が相手国と共同して技術指導機関を設置して、工業化促進に一役を買っていた例はきわめて多く、いわゆる海外技術センタ、海外技能者養成機関、海外工業相談所、情報蒐集調査機関、展示センタなどがそれである。わが国においても

第5表 業種別地域別技術提携実績 (1958年度)

(単位: 件)

業 種	東南アジア	中 東	北 米	南 米	欧 州	アフリカ	建設	電気機器	その他	合計
東南アジア	1	1	1	1	1	1	1	3	8	19
中 東	1	1	2	1	1	1	1	1	3	9
北 米	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
合 計	5	3	3	2	2	2	4	6	13	31

注: 1958年度には北米との技術提携は行われなかった

1958年インドのカルカッタ市外に、工作機械、鋳造、鍛造、電気計器の4業種について、日印両国共同のセンタ設置のため、4億円を投じて建設に着手し、本年度中には完成する予定である。また、マラヤのクエランプール近郊にも製材木工を中心としたセンタの設置が決定し、目下現地調査の段階といわれている。このほか各国の技術訓練所に対する技術者の派遣や、各地の工業相談所の設置、機械展示センタやサービスセンタなども計算されている。

海外技術協力の一環として、技術コンサルタント、活動はきわめて有意義であるが、わが国のコンサルタントは各国のそれにくらべて、弱体かつ不完全なのは注目すべきことである。民間コンサルタントは日本国

第6表 海外投資の目的別業種別国別実績 (1958年度)

形 態	輸出市場の開拓、確保または転換を目的とするもの			輸入市場の開拓、確保または転換を目的とするもの			企業余力活用による利潤追求を目的とするもの			その他の目的を目的とするもの		
	業 種	国 名	件数	業 種	国 名	件数	業 種	国 名	件数	業 種	国 名	件数
証券取得	機 械	メ キ シ コ	1	織 維	ブラジル	1	水 産	メ キ シ コ	1			
	"	ブラジル	2	鉱 業	チ リ	"	"	イスラエル	"			
	その他	"	3	"	フィリピン	"	"	ブラジル	"			
	"	インド	1	その他	琉 球	"						
	"	パキスタン	"									
	"	セイロン	"									
	"	シンガポール	"									
	"	ベトナム	"									
債券取得	"	香 港	"									
	"	台 湾	"									
	その他	ブラジル	1	鉱 業	メ キ シ コ	1	機 械	ブラジル	1	その他	フィリピン	1
	"	香 港	"	"	チ リ	"	織 維	"	"			
技術提携	"	"	"	"	カナダ	"						
	"	"	"	"	台湾	"						
	"	"	"	"	サウジアラビア	"						
	電 気	メ キ シ コ	1	鉱 業	チ リ	1	水 産	メ キ シ コ	1	建 設	ビルマ	1
	"	香 港	2	"	マ ラ ヤ	"	"	イスラエル	"	業 品	フランス	"
	"	台 湾	2	"	タ イ	"	織 維	エル・サルバドル	"	その他	パラグアイ	2
	機 械	ブラジル	"	"	台 湾	"	"	ブラジル	"			
	"	ビルマ	1									
	鉱 業	フィリピン	"									
	水 産	フィリピン	"									
	織 維	台 湾	2									
	その他	アルゼンチン	1									
	"	インド	2									
	"	パキスタン	1									
	"	セイロン	"									
	"	ベトナム	"									
	"	台 湾	"									
	"	イ ラ ン	"									

第 7 表 経済協力関係諸指標

年 度	1956	1957	1958	1959
1. 海外投資総額	18,934千ドル	33,435千ドル	58,770千ドル	
証券取得	11,935 "	18,015 "	23,103 "	
債券取得	6,825 "	15,052 "	28,347 "	
不動産取得	155 "	367 "	7,319 "	
技術提携	13件	30件	31件	
2. 延 払 関 係				
輸出承認額	689百万ドル	385百万ドル	332百万ドル	
(内 船 舶)	602 "	342 "	209 "	
輸 入 承 認 額	580億円	568億円	437億円	
(内 輸 出 金 融)	573 "	467 "	430 "	
(内 船 舶)	488 "	380 "	288 "	
代金保険付保輸出額	457 "	296 "	590 "	
(内 船 舶)	360 "	229 "	215 "	
同上延払金額	274 "	166 "	412 "	
(内 船 舶)	216 "	125 "	102 "	
3. 研 修 生 受 入				
政府ベース	305名	427名	486名	
民間ベース	118 "	70 "	61 "	
4. 技 術 者 派 遣				
政府ベース	40 "	56 "	60 "	
民間ベース	364 "	753 "	958 "	
5. 政府予算総額	150百万円	210百万円	497百万円	1,316百万円
海外投資等基礎調査費補助金	52 "	82 "	180 "	321 "
その他	0 "	0 "	111 "	450 "
海外投資等基礎調査費補助金	0 "	32 "	46 "	221 "
その他	0 "	0 "	10 "	100 "
海外投資等基礎調査費補助金	0 "	20 "	40 "	35 "
その他	66 "	76 "	108 "	189 "
6. 贈 賞 供 与 額	3,935 "	49,830 "	47,330 "	
レ マ	3,840 "	20,490 "	26,290 "	
フィリピン	95 "	20,340 "	17,920 "	
インドネシア	—	—	3,120 "	

注：技術者派遣研修生受入および贈賞供与額の欄は暦年である。

有鉄道、日本電信電話公社など政府出資による企業体や、政府助成の公益法人、一般公益法人などによるコンサルタント業務や、メーカまたは商社の一部における同種業務に圧倒され、各国にみるごとく民間コンサルタントはわずかに 10 社を数えるにすぎない。しかもこれら業者もまだ強力な活動をなすまでにいたっていない。欧米各国において、海外技術協力の推進力として、コンサルタントの活発な活動をみつつある現状にくらべて著しい損色を示している。いうまでもなくコンサルタントの活動は、特に技術水準の低い低開発国に対して、現在の特許事業を考慮しつつ高度の技術知識をもって、新しい産業を樹立する役目を果たするのであるから、後進国の工業化にはきわめて重要な職業で、かかる組織の発達している欧米各国の低開発国への技術協力の実情は、わが国にとって他山の石となしなくてはならない。民間コンサルタントの歴史が浅く、しかも政府に関係深い諸団体の活動が比較的活発なため、わが国コンサルタント業務の発展には幾多の問題がある。海外技術協力推進のため、コンサルタントの育成には特に注意が払われなければならない。

技術の提携、企業の海外進出は近來逐次活況を呈し、

すでに技術提携 90 件、海外投資 64 件、合計 154 件を数え、他に目下交渉中のものも数件におよんでいる。これら海外進出産業はいずれも多年にわたり、幾多の困難を克服しつつ、事業経営の基礎を固めているのである。いま 1958 年度の地域別技術提携実績を通産省統計によれば、第 5 表のごとく鉱業が多く、地域的には東南アジアが過半を占めている。

次に海外投資事業の内容をみるに、1958 年度実績によっておおよそその動向を察知することができる。第 6 表は事業目的と形態とを類別したものである。

以上海外技術協力の現状について概況を述べたのであるが、科学技術の驚異的進歩発展は低開発国の工業化を急速に実現し、これら各国の包蔵する膨大な未活用資源は、その国の経済発展を招来するとともに、しいては世界平和に寄与するであろう。四つの島に閉じ込められたわが国経済発展の途は、海外への技術協力によって、彼我双方の産業振興に努力するにあり、なかでも低開発国への技術協力こそ、今後わが国対外政策の重要課題として考慮されなければならない。最後に最近数年間における海外経済協力の概要を示すには、第 7 表のとおりである。

UDC 621.039.6:537.56:621.3.015.5

核 融 合 に 関 す る 技 術 討 議 会

技術討議会

35-1

〔昭和 35 年 4 月 1 日 電気クラブ (東京有楽町) において〕

原 子 力 技 術 委 員 会

出 席 者

(I) 原子力技術委員会

法 貴 郎四 (委員長, 科技厅)

森 川 辰雄 (原 子 力 事 業)

篠原 義幸 (東電, 協坂代理)

伊原 義徳 (科 技 庁)

佐藤 乙丸 (東大, 加藤代理)

(II) 核融合専門委員会

小島 昌治 (委員長, 東教大)

関口 忠 (東 大)

森 茂 (東 大)

森 英夫 (電 試)

只野 文哉 (日 立)

山本 賢三 (名 大)

高山 一男 (通 研)

王河 元 (名 大)

横須賀正寿 (三 菱 原 子 力)

稲田金次郎 (日 本)

中野 義映 (東 工 大)

杉浦 賢 (電 試)

小沢 保知 (北 海 道 大)

長尾 重夫 (東 北 大)

吹田 徳雄 (阪 大)

松田 仁作 (東 芝)

(III) 招 待 者

山田 直平 (東 大)

川俣修一郎 (電 試)

安藤 安二 (三 菱)

山田太三郎 (電 試)

川崎 栄一 (日 大)

青井 三郎 (沖 電 気)

岡本 耕輔 (理 化 学 研)

内田岱次郎 (日 大)

長谷部堅陸 (名 大)

辻 良夫 (科 技 庁)

百々 太郎 (日 立)

菅原 実 (東 北 大)

坂口 忠雄 (京 大)

高砂 常義 (日 立)

金井 明 (電 試)

岡田 実 (阪 大)

河合 正 (三 菱)

開 会 の 挨 拶

法 貴 四 郎 (原子力技術委員会委員長)

本日の核融合に関する技術討議会は、電気学会の中にある原子力技術委員会が主催するということになっておりますので、その委員長をしております私が最初にご挨拶申し上げます。本日の討議会は、技術委員会に属しております核融合専門委員会に全部お預けして、計画を進めていただきましたので、実際的には専門委員会主催のような形になり、講師もおもに専門委員会の方をお願いしております。

日本の核融合の研究もすでに5年ぐらゐの歴史を踏み、各地で相当の実験装置も活動するに至り、最近はいろいろと実験データもでてくる段階になり、大変結構なことだと思っておりますが、核融合が大変むずかしい問題であるだけに、前途ははなはだ多難であると考えられます。ことに核融合という問題に理論的な面と実験的な面との協調が大切で、まず基礎理論を固めることはもちろん重要であります。実際にはやはり実験してみないことには、具体的に進歩しないのであって、実験装置を作るとか、それを運転するというになると、技術的な面がたくさんクローズアップされてきます。こういう観点から、技術委員会としては、電気学会に核融合専門委員会を置き主として電気技術との関連において諸問題を取り上げ、充分に追求してもらいたいと思います。

理論と実験は車の両輪のように協力して進まなければならないと考えますが、現在は初期の段階で、理論が先行しているような形になっていますが、技術面をなるべく早く充分に固め、よい実験結果ができれば、それにつれて理論も進むのであるから、電気学会としては技術的な問題に重点をおいて、これを充分固めてゆくということを主眼にしたいと考えています。本日もその趣旨から、技術討議会としましては、主として技術面の問題に限定

して講演および討論を願うことになっております。

原子力技術委員会委員長 法貴四郎氏が座長となって講演および討論にはいる。

1. 総 論

法 貴 四 郎 (原子力技術委員会委員長)

(1・1) はじめに AEC ウィリアムス委員の最近の報告によれば、

(i) 1957 年に 10^6K ぐらいであったプラズマ温度は、現在では 10^7K ぐらいになり、この 2~5 年で 10^8K に達する見込みである。

(ii) この場合空間的に分布の一樣な中性子 10^{11} 個/burnt 程度が発生するであろう。

(iii) 発電用実験融合炉まで 10~20 年、実際の発電まで 40~50 年ぐらいと考えられる。

このような見とおしに対して AEC が 1960 年末までに支出するのは約 1 億 5 百万ドルになるといわれる。実際 (i) のような装置を建設するとすれば、その費用はさらに膨大になるものと覚悟しなければならない。

イギリスにおいても核融合の研究をハーウェルよりカルハムに移し、ゼータ II にかわる中電流安定装置 (ICSE) の建設を始め、2~3 年後には完成するであろうといわれている。これはゼータにくらべてピンチ電流は 10 倍、立上がり時間は 1/100 ぐらいになるものとみられている。このための予算は約 140 万ドルであらうといわれている。

わが国においても原子力委員会核融合専門部会では、小規模な基礎研究を目的とした A 計画と、さしあたってわが国で建設すべき実験装置を検討した B 計画を作成したが、この B 計画に必要な予算約 10 億円 (3 個年計画) は現段階において研究開発を進めるうえに適正な規模のものと考えられる。この程度のはできるだけ早く建設して実験的な研究を強力に推進すべきである。核融合の研究は広い分野の協力があって初めて実現が可能になるのであるから、各分野にわたる協力体制をととのえて集中的に推進されることが望ましい。

(a) 資源論 核融合反応において主要な役割をなすのは重水素である。また三重水素、リチウムも非常に有望といわれ、熱核爆弾に利用されているといわれる。三重水素は将来考えられる核融合反応炉において増殖して作られる可能性も大きい。

この重要な重水素は海水の中に含まれており、ほと

んど無尽蔵のエネルギー資源としてわれわれの夢をとらえるのである。AEC の報告によれば全埋蔵エネルギーは 10^{20}kW-years であり、世界の所要電気出力を $5 \times 10^9\text{kW}$ とすると 2×10^{10} 年という天文学的数字を示している。また 1 gal の海水中より約 1/8 g の重水素が 4 セント (14.4 円) 以下の費用で抽出できるとされており、1/8 g の重水素が燃えるとガソリン 300 gal に等しいエネルギーを放出する。

核分裂反応に使用される燃料はウランあるいはトリウムであるが、この存在は広く分布していて、地長 10 km までをとれば核融合燃料とほとんどかわらない埋蔵量であるといわれる。(第 1・1 表は A. M. Weinberg 氏によるものでこのことを示している)

第 1・1 表

燃料物質	存在場所	存在比 (ppm)	全存在量 (t)	全発生エネルギー (MWD)	年間エネルギー消費量を $4 \times 10^4\text{MWD}$ としたときエネルギー供給可能年数 (年)
D	海	16	3×10^{13}	10^{20}	0.7×10^{10}
Li	大地	5	21×10^{13}	3×10^{20}	2.5×10^{10}
U	"	4	10×10^{13}	1.8×10^{20}	1.5×10^{10}
Th	"	12	50×10^{13}	4.2×10^{20}	3×10^{10}
U+Th	"	16	66×10^{13}	7×10^{20}	4.5×10^{10}

しかしながらこの核分裂物質を抽出して実際に利用しうる量はきわめて少ないものと考えられる。これにくらべて水中に含まれる重水は、大部分抽出利用することができる。ともあれ核融合に必要な燃料はほとんど無尽蔵に存在し、かつ経済的に抽出できる。

(b) 核融合反応の利点 (核分裂反応にくらべて)

核融合反応は最大の欠点である実現が困難であるという点を除けば、多くの面において核分裂反応よりすぐれている。核融合反応炉がわれわれの考えているような方法 (超高温プラズマによる熱核反応) によって実現したとした場合の利点を列挙しよう。

(i) 放射性核分裂生成物がほとんどでない。

(ii) 直接発電が可能である。

(iii) 燃料の装架量が非常に少ない。

(1・2) 核融合反応の理論

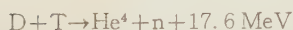
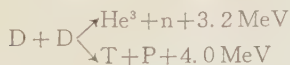
(a) 結合エネルギーの放出 よく知られた結合

エネルギーの式

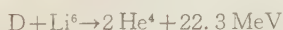
$$\Delta E = (Z \cdot M_p + N \cdot M_n) - M$$

Z : 原子番号, N : 中性子数, M_p : 陽子の質量, M_n : 中性子の質量, M : 原子の質量

よりわかるように, 軽い原子が融合するとその結合エネルギーを放出する。代表的なものを次に示す。



A. M. Weinberg 氏によれば利用できると考えられる反応は上記のほか



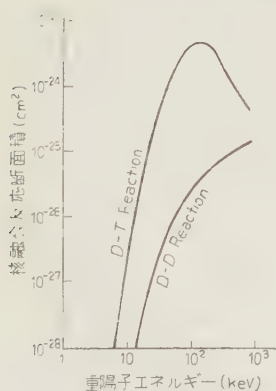
が有望であるといわれるが, Li は Z が大であるから放射が大きくて疑問であると思う。

(b) 熱核反応 上記のような核融合反応をおこさせるためにはいろいろの方法が考えられるが, これを制御して有効にエネルギーをとりだすためには, 熱核反応以外にはないであろうといわれている。

原子核は Coulomb potential によってとりかこまれているから, 反応をおこすためには原子核はこの壁を通過して核力 (Nuclear force) の働く 10^{-13}cm ぐらいまで接近しなければならない。実際この Coulomb potential による反発力は非常に大きく, 普通の高温では散乱断面積にくらべて融合反応断面積は問題にならない。したがってこの反発力に打ち勝って反応断面積を大きくし持続反応を維持するのに必要な超高温プラズマを作り, これを制御しなければならない。これが熱核反応炉の構想である。

このように Coulomb potential に打ち勝ち反応を自己維持するために必要な粒子の運動エネルギーは反応の種類によって異なるが, 大ざっぱに $D-T$ 反応で

$5 \times 10 \text{ keV}$, $D-D$ 反応で $5 \times 100 \text{ keV}$ ぐらいであるといわれている。運動エネルギー 1 eV は $1.16 \cdot 10^{10} \text{ K}$ に相当するから, これらはそれぞれ



Project sherwood, Bishop による

第 1.1 図 核融合反応断面積

$5 \cdot 10^8 \text{ K}$, $5 \cdot 10^{10} \text{ K}$ のオーダーである。第 1.1 図は粒子の運動エネルギーと反応断面積の関係を示す。

(1.3) 超高温プラズマ

(a) プラズマ密度 われわれがいま考えているような超高温になると, 原子は完全に電離して, イオンと電子が猛烈なスピードで飛び交っている。したがって粒子は常に系外に飛び出そうとするので, これを磁界などにより系内に閉じこめるためには, プラズマの密度をある程度高くする必要がある。この超高温融合反応を持続的ににおこすに必要な温度を維持するために, プラズマの密度をある程度高くする必要がある。この値は $10^{14} \sim 10^{18}$ 個/cm³ であろう。

(b) エネルギー平衡 反応によって生じるエネルギーよりもプラズマ系からの失われエネルギーが小さくしなければならないことはいうまでもない。このエネルギーの損失は通常の熱損のほか

(i) 粒子の系外脱出

(ii) 電磁波の放射

が重要である。(i) のうちイオン, 電子のような荷電粒子は磁界により閉じこめられるから, よほど大きなエネルギーをもったもの以外は系外に脱出しない。しかし中性子は磁界によって束縛されないから系外に脱出するが, この中性子はブランケットを設けて三重水素増殖に利用することもできる。(ii) の電磁波の放射は複雑である。この放射は

(i) 通常の放射

融合や原子のエネルギーレベルの変化によるもの。

(ii) シンクロトロン放射

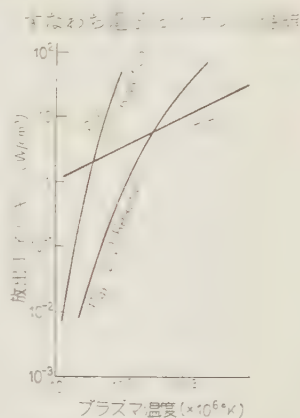
荷電粒子の回転運動に伴なうもの。

(iii) 制動放射

イオンによる電子の散乱に伴なうもの。

に大別されるが, もっとも重要なものは (iii) である。この放射

損は波動力学により



Project sherwood, Bishop による

第 1.2 図 放出エネルギーと放射エネルギー

$$P(r) = 1.42 \times 10^{-27} Z n_i n_e^2 T^{1/2} \left(\frac{\text{erg}}{\text{cm}^3 \cdot \text{s}} \right)$$

Z : 原子核の原子番号, n_i : イオンの数/cm³,

n_e : 電子の数/cm³, T : 温度 (°K)

この系が水素の場合には $n_i = n_e$, $Z=1$ であるから

$$P(r) = 1.42 \times 10^{-27} n_e^2 T^{1/2} (\text{erg/cm}^3 \cdot \text{s})$$

..... 1)

上の式より Z が大きいほど $P(r)$ が大となることがわかる。したがって燃料として Li を使うとか、系の中に不純物があると Z が大きく、したがって $P(r)$ も大となる。管壁や電極の蒸化などに特に留意しなければならない理由の一つである。

さて核融合反応により放出されるエネルギーは、この気体がマクスウェルの分布にしたがうとすると

$$P(g) = \frac{1}{2} n^2 \sigma v E \dots\dots\dots (2)$$

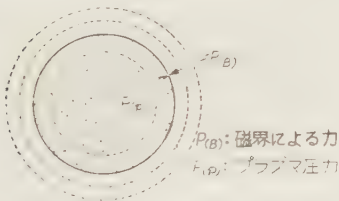
n : 原子核密度, σ : 融合反応断面積, E : 一反応あたり放出エネルギー

(1), (2) 式より計算した結果を第 1・2 図に示す。

(c) プラズマの閉じ込め いま例としてピンチによる閉じ込めについて考える。プラズマは普通のガスと同様にふるまうから、第 1・3 図においてプラズマ圧力は

$$P_{(P)} = nkT$$

n : プラズマ密度, k : ボルツマン定数,
 T : 温度 ($^{\circ}\text{K}$)



第 1・3 図 ピンチによる閉じ込め

このプラズマを磁界により閉じ込めるための磁界による圧力は

$$P_{(B)} = \frac{B^2}{8\pi}$$

したがって

$$\beta = \frac{P_{(P)}}{P_{(B)}} = \frac{nkT}{B^2/8\pi}$$

が大きいほど保持磁界を有効に使っているといえることができる。

次にこの封じこみの時間は長ければ長いほどよいことはもちろんであるが、原子密度の関連において

$$n\tau \quad (\tau: \text{持続時間})$$

が重要な意味をもち、これが 10^{16} 以上であることが必要であるといわれている。

(d) プラズマの加熱 プラズマを加熱するためには、外部より加えるエネルギーを粒子の運動エネルギーにかえなければならない。これを大別すると次のようになる。

(i) ジュール熱による加熱 いまプラズマに直接電界をかけると荷電粒子、主として電子が加速され、これがイオンや未電離の原子と衝突してそれらに運動エネルギーを与える。

(ii) 磁気加熱 外部より強力な振動磁界を加える方法であるが、単に振動磁界を加えただけでは磁界周波数に応じたプラズマの収縮と膨脹がくり返されるだけで、粒子に運動エネルギーを与えてプラズマの温度を上げることができない。しかし実際にはプラズマ自身の各種の固有振動があり、これらと共振する振動磁界を加えると、イオンの運動方向が加えられた磁界の方向と角度をもち、そのコンポーネントの方向にイオンが加速される。そしてこの加速されたイオンが衝突をくり返すことによって、運動エネルギーがプラズマ全体に伝達されプラズマの温度が上がる。いわゆる磁気ポンプといわれるのがこの方法である。

(iii) 衝撃波による加熱 大電流のパルス放電などにおける衝撃波による加熱法である。

(iv) 断熱圧縮による加熱 プラズマに強い磁界を急激に加えて(すなわち断熱的に圧縮する)加熱する方法である。

(v) 加速粒子を打ちこむ加熱 外部より電子やイオンを加速してプラズマ中に打ちこみ、この運動エネルギーを衝突によってプラズマに伝える加熱法である。

実際の装置においてはこれらはいくつかが組み合わさって起きることが多い。たとえばステラレータ形ではジュール加熱と磁気加熱を行いうる。ジュール加熱では 10^6°K ぐらいから飽和してくるから、それ以上は磁気加熱によって加熱しなければならないと考えられる。

(1・4) 技術上の問題点 さて以上述べたように超高温プラズマを作り、これを制御するためにはすぐれた電気技術に負うところ大であるが、問題は 1 けた次元が高いということである。いままでわれわれが手につけなかった大電流、超高温という領域を開発しなければならない。これらの技術上の問題点を列挙する。

(i) 大電流技術 電源、コンデンサ、極低インピーダンス回路、開閉器など。

(ii) 材料 耐高温放電管材料。(セラミックなど)

(iii) 真空技術 中性子、X線の測定、分光器、高速カメラ、ミリ波による測定。

(v) その他 大電流高周波電源、大電流加速器。

2. 海外の情勢

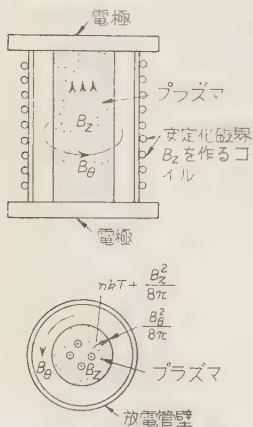
山田 太三郎 (電気試験所)

(2・1) 序 1958年9月の第2回 Geneva 会議には世界各国から、各種の核融合反応装置の実験、理論に関する多数の論文が提出され、また展覧会場にはそれらの諸装置の模型が出品され、まさに“核融合反応時代きたる”という感を与えた。しかし詳細に眺めてみると、はなやかさは表面だけで、各種の巧妙な装置も目的を達する確実性を有するといった切れるものはい一つもないことがわかり、いったん近づいたかにみえた核融合反応時代も再びはるか彼方に遠のいたのである。その後、各国の核融合反応の研究の方向は、装置の巧妙さを誇るよりも、むしろプラズマのふるまいを探究するという反省期にはいったものといえる。

ここでは、Geneva 会議以後1年余の間に於ける、アメリカ物理学会での発表、1959年4月の“Convention on Thermonuclear Processes”(London)、1959年8月の“4th International Conferences on Ionization Phenomena in Gases”(Uppsala, Sweden)、1959年9月の“Conference on Physics of Very High Temperature”(London)を主体として、核融合反応研究の近況を探ることとした。

(2・2) 各種の方式 今日まで核融合反応装置として、きわめて多種類のものが発表されているが、ここでは次の6種に限定する。

(i) ピンチ、(ii) シラー(誘導ピンチ)、(iii) ステラレータ、(iv) パイロトロン(磁気鏡)、(v) 高エネルギー粒子注入方式、(vi) カスプ



第2・1図 直線状放電

(a) ピンチ方式

(1) 直線状放電

Kurchatov 氏(ソ連)が直線状放電について発表したのが、核融合反応の技術的データの最初のものであったように、この分野の研究の歴史は古い。

これは第2・1図に示すように、円筒形の放電管の上下電極間で放電を行って高温プラズマを発生する方法

で、実験がやりやすく、形状的には軸対称であるのは

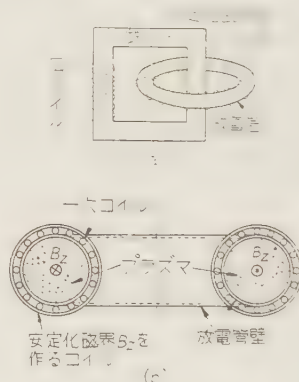
好つごうである。しかし、電極の存在が欠点である。

このような単純ピンチ方式は、各種の不安定現象を生じるから、第2・1図のようにプラズマ中に軸方向磁界 B_z を与えて安定化を図る。この B_z はプラズマが曲がりとうするとあたかも鉄筋がはいったように作用し、プラズマを安定に保つ。この場合の平衡式は、

$$\frac{B_\theta^2}{8\pi} = n k T + \frac{B_z^2}{8\pi}$$

となり、 $\beta < 1$ である。(B θ : 放電電流による磁界)

(2) 環状放電 これは第2・2図のように、放電管は一次コイルと電磁的に結合した一巻きの二次回路を形成し、一次コイルに変化電流を流したとき、変圧器作用によって二次回路に電圧を誘起し、放電させるもので、いわゆる無電極放電を行うので、直線状放電の電極による悪影響を除くことができる。



(a) はその原理を示したもので、一次コイルは実際はこのように鉄心に巻かずに (b) のように放電管壁に沿って巻いてある。

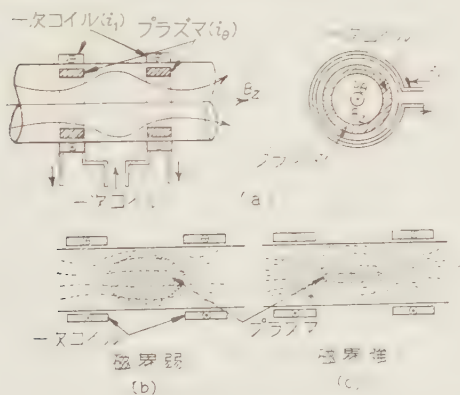
第2・2図 環状放電

このグループの代表的なものは ZETA(英) であるが、Perhapsatron S-4(米)、SCEPTRE-III(英) も多くのデータを出しており、ソ連には Alpha がある。

ZETA の実験結果、1958年1月にイギリス原子力公社は、計算上熱核反応によって生ずる中性子の数にほぼ一致する中性子を検出したと公表したが、その後この中性子は“にせの中性子”であることが発表され、1959年7月には逆に“ZETA は失敗”という公式発表になった。ここで ZETA を大形化すれば核融合反応によるエネルギーが得られるという確信がくずれたわけである。そこで ZETA の失敗の原因、すなわちプラズマのエネルギー損およびプラズマの安定性を究明する目的で、イギリスでは ICSE (Intermediate

Current Stability Experiment) を建設する計画であるが、その設計の基礎条件は、(i) ZETA より大形とする、(ii) 電源容量を $3 \sim 10 \times 10^6 \text{ J}$ とする、(iii) 主磁界の立上がり時間を早くする、(iv) 安定化磁界を二つ作り、その一つは可変とし、固定磁界と逆方向に加える、の四つである。その目的するところは(ii)によって大電流を得、イオン密度を高め、(iii)によって速いピンチを行わせ薄いプラズマシースを得、電子損を軽減しようとするものである。また(iv)は磁気流体力学的に安定なプラズマを得ることを目標にしている。

(b) 誘導ピンチ いままで述べたピンチ方式は(I_z, B_θ)によるピンチであるのに対して、これは(I_θ, B_z)によるピンチであり、誘導ピンチ方式と呼ばれている。その代表的な装置はシラ(Scylla)(米)であり、その機構の概略を第2・3図に示した。放電管に若干の巻数のコイルを巻き、これに急速にコンデンサの放電電流を流し、放電管内に θ 方向に電流の流れるプラズマ



第 2・3 図 シラ (Scylla) の概略図

を作り、まず衝撃波で加熱し、次いで断熱圧縮によってプラズマを加熱する。第2・3図(b),(c)は断熱圧縮の過程を示したもので、コイル電流を増して磁界を強めプラズマを圧縮する。この方式は高温(10^8 K)が得られる可能性があり、また β も高い点に特徴がある。

Uppsala の会議には世界各国から、この方式に関する多くの実験結果が報告され、注目を集めた。シラおよび Kolb の実験では 10^7 K 以上の高温が得られたと報告している。

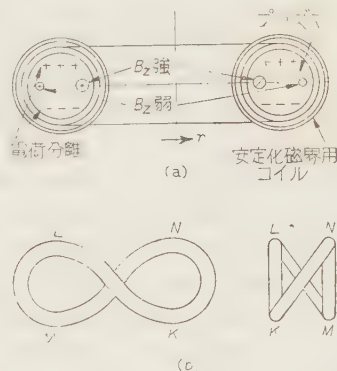
誘導ピンチの実験結果生じた中性子の発生機構についての解釈はシラグループとその他のグループで異なっており、シラグループはこの方式の将来性について楽観的であった。シラグループはプラズマから直接軟X線が検出されたことから、電子温度は250万

度以上と推定しており、クローバ方式*を施したシラ-IIの研究に向わんとしており、なかなか強気である。

しかしながら、ストリークカメラによって不安定現象の存在も示され、高温原因が不安定現象に起因するものであるならば、設備の大形化によって有効エネルギーを得んとする試みの成功する可能性は少ないというのが一般の意見のようである。

(c) ステラレータ (Stellarator) ステラレータはアメリカ Princeton 大学で開発されている方式で、外部磁界によってプラズマを保持する方式である。トーラスに一樣にコイルを巻いて磁界を作っただけでは不十分で、第2・4図(a)に示すように放電管内の磁界 B_z は管の曲率半径 r によって変わり、放電管中心からの距離 r が大きくなるほど小さくなる。こうして生じた磁界の不均一は、正負の電荷に逆方向のドリフトを与え、電荷分離の現象を生ずる。

この対策として、(i) トーラスをねじって第2・4図

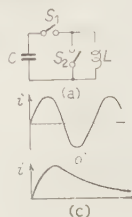


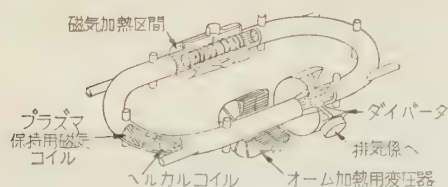
第 2・4 図 電荷分離および8字形放電管

(b)のように8字形にし、一方の端で上方にドリフトする粒子は他端では下方にドリフトするようにくふうする、(ii) 磁界をねじって完全な磁気面を作る、の二つがとられているが、最近では(ii)の方法に重点がおかれている。

第2・5図はステラレータの概略図で、トーラス中のプラズマの加熱は、まずプラズマ中に電流を流し、

* (a) 図のように誘導性回路にコンデンサの電荷を放電すると、(b)図のような振動電流が流れる。回路の電流が最大値に達し、コンデンサのエネルギーが全部電磁エネルギーとして L の中に移ったとき、スイッチ S_2 を閉じると、電流は $L-S_2$ の回路の時間定数したがって減衰し、(c)図のような形をとる。この結果電流の周期が長くなり、またコンデンサの電圧極性が逆転しないので、コンデンサの寿命も延びる。クランプ回路とも呼ばれている。





第 2・5 図 ステラレータ

プラズマの抵抗に発生するジュール熱を利用してオーム加熱を行う。しかし、プラズマが 10^6K 程度に達するとその抵抗は著しく小さくなって、オーム加熱は有効ではなくなるので、高周波による磁気加熱を行う。これは磁気ポンプと呼ばれているが、非可逆過程によってプラズマに熱が与えられる。

この装置には、不純物による放射損を避けるため、適当な磁力線を作ることによって不純物イオンを排出するダイバータも作られ、若干の成功を収めている。

このような系統的な研究の結果、“Zero energy”の核融合反応炉として、 $5 \times 10^{20}\text{K}$ を目標とするステラレータ C 形の建設が進められており、本年中には完成をみるものと思われる。これが成功すれば D 形と呼ばれる 実用的核融合反応炉 (目標 $2 \times 10^{20}\text{K}$) が作られることになっている。

ステラレータに関する今日までの研究で、種々のことがらを明らかにしてきたが、一番問題となるのはいわゆる“ポンプ・アウト”の現象で、オーム加熱の途中で電子の逸走が著しく多いことである。この電子の逸出に対しては、磁界をねじってもねじらなくても同じであるという実験結果が出て、ステラレータ方式の前途を暗いものにしてしている。

(d) パイロトロロン(Pyrotron) 第 2・3 図 (b), (c) のような磁力線でプラズマを包囲した形状のプラズマ容器を磁気鏡と呼び、代表的なものはアメリカの Livermore の California 大学放射線研究所で行われているパイロトロロンである。

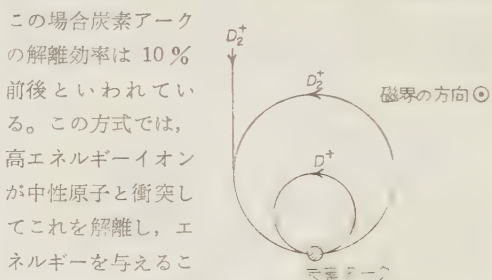
パイロトロロンの原理は、数 keV 程度のエネルギーを有するかなり濃いプラズマを磁気鏡中に入れ、次に磁気鏡の磁界を強めて、プラズマを断熱圧縮によって加熱し、臨界温度を与えるもので、第 2・3 図 (b), (c) の過程をとる方式である。

この方式の具体化上の問題点は、強力なそして変化する磁界の下で、有効に働らく強力なイオン源を得ることである。また各種の装置をもって実験を進めたが、大きな問題となったのは、この方式で使われているような磁界では、プラズマは本来不安定であるという理論 (Interchange instability) が現われたことであ

る。ところが実験結果は理論から予想されるよりもはるかに安定で、数〜数十ミリ秒の間プラズマが安定に保持されたのであった。⁽¹⁾しかし $\beta=0.05$ ぐらいまでが実験された。

e. 高エネルギー粒子注入方式 低密度の臨界温度 (数〜数十 keV) 以上の高エネルギー粒子を磁気鏡内に注入し、このエネルギーを他の粒子に与えて、核融合反応の目標の温度のプラズマを作る方式である。この考え方は当然浮かんでくるわけであるが、問題は磁界中で入射粒子の軌道を変化させないと磁界中に捕捉されない点にある。

DCX (米) では、第 2・6 図に示すように、高エネルギーの重水素分子イオン D_2^+ を 600 keV に加速して入射し、これが炭素アーク中を通過するとき、 D^+ および D^0 に解離する。均一な磁界中では、 D^+ の軌道半径は D_2^+ の半分になるので、磁界中に捕捉される。



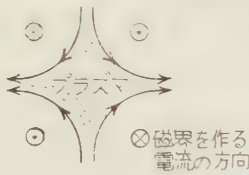
第 2・6 図 DCX

この場合炭素アークの解離効率は 10% 前後といわれている。この方式では、高エネルギーイオンが中性原子と衝突してこれを解離し、エネルギーを与えることによって、装置中のプラズマの温度を上げるわけであるが、衝突の際、高エネルギーのイオンが電子を吸収して中性原子にもどると磁界外に逸出してしまうので、ぐあいが悪い。そこでこの解離断面積と荷電交換断面積の比が問題となる。この比が 1 以上になると、いわゆる“燃え尽き”の状態が得られ、磁気びん内の中性原子を全部プラズマとすることができ、DCX 方式の目標は燃え尽きの状態に達することであるが、まだこの状態を実現するにいたっていない。

DCX の模擬と考えられるソ連の Ogra では炭素アークのようなものを用いないで、磁界内での他の粒子との衝突に期待しているので、世界最大の容積の設備となっている。

Oak Ridge National Laboratory (米) では、DCX の発展として ORION が計画されている。これはステラレータ C 形に対応する “Zero energy” の設備である。これは燃え尽きが実現し、プラズマの密度が充分高くなったところで、イオンの注入を止め、保持磁界を階段状に強めて、プラズマを強力に閉じ込める計画である。

(f) カスプ (Cusp) 上で述べたように、ステラレータまたはパイロトロンのような磁界、すなわち磁力線がプラズマに対してへこんだ形状は不安定であることが理論的に証明された。そこでプラズマに対して突起の形状の磁界が安定度の上から好ましいものと



第 2・7 図 カスプ

考えられ、第 2・7 図に示すような磁界配置を持つカスプと呼ばれる方式を考えた。磁気鏡は相対するコイルに流れる電流が同方向の場合であるが、カスプはコイルの電流が反対方向のときできる磁界を用いるものである。Uppsala の会議で Tuck 氏(米)は, Entropy trapping という装置を発表した。これはカスプ状の磁界にプラズマの圧力で孔を開け、高エネルギー粒子を入射する方法である。目標としてはさらに加熱せずとも臨界温度以上のエネルギーを持つプラズマを入射す

ることで、90 keV のイオン 100 A ぐらいを打ち込むことを考えており、これは現在の加速技術の 100 倍に相当するが、必ずしもそう困難ではなく、試験的な見積りによれば、現在粒子密度 10^{16} cm^{-3} 、速度 10^7 cm/s 程度のプラズマが作られ、この速度を 30 倍にすれば、DT 反応の最適温度を得ることができる。⁽²⁾

(2・3) 結 語 以上核融合反応装置を主体とした海外の情勢について述べた。紙数のつごうで、板状ピンチ、回転プラズマ、アストロン、イオンマグネトロンなどについては触れられなかった。また本文中にとりどころ実験結果を述べたが、それに用いた測定技術も重要であるし、大形核融合装置の製作および回路方式など電気技術者にとって興味深い面も少なくない(すべてを列挙しない)。

文 献

- (1) P.F. Post: Phys. Rev. Letters **4**, No. 4, 166 (1960)
- (2) J.L. Tuck: Phys. Rev. Letters, **3**, No. 7, 313 (1959)

3. 国 内 の 状 況

山 本 賢 三 (名古屋大学工学部)

(3・1) 核融合の研究 核融合の研究は、超高温プラズマの発生と閉じ込め(保持)が主題で、その成功の端緒をつかむには、プラズマの特に超高温(仮に電離エネルギー以上、すなわち約 20 万度以上とする)におけるふるまいをよく理解することが先決である。低温(数百°K ぐらい)から高温(数千°K ぐらい)に至るプラズマの研究は電離層、放電管、アークに関連して半世紀以上の歴史をもっている。わが国でもこの分野の研究は盛んであるが、物理学のほうでは活発ではなかった。

超高温をたとえば放電で発生させるとすれば、電流は膨大になり自己磁界が有効に働く。そして電離度が 100% に近づくので中性原子との衝突がなくなり、基本的衝突過程が変わってくる。ほとんどの場合保持用強磁界中のプラズマが対象になるので、従来のプラズマと異なった様相が現われる。たとえば、高導電性流体のために電磁流体の性質が顕著になり、また協同現象といわれる複雑な現象が現われる。このような超高温現象の研究に一気に立ち向うゆき方もあろうし、低温と高温と超高温とをつなぐ中間領域の研究も大切である。

発生方法として大電流加速器によるものがある。1 eV が約 1 万度に相当するから、加速された荷電粒子

ビームの熱運動化によってきわめて高い温度が得られるわけであるが、その過程はまだよくわかっていない。

一方、天体におけるプラズマの研究は、核融合、超高温プラズマ、加速器にきわめて有用な知識と示唆を提供しつつある。

これらの諸問題はもちろん世界における新しい課題であるが、わが国ではそれ以前の、素地となる研究や研究者が十分に用意されていたとはいえない。

研究分野は理論、基礎実験(計測)、発生装置の 3 部に大別されるが、ここでは主として発生装置について述べることにする。発生したプラズマをあらゆる手段をつくして観測し、生起している現象を高い精度ではあくすることが、現段階では非常に重要である。高温プラズマ発生条件を厳重におさえ、(再現性、ガス純度などをよくする)観測結果と理論的解析との対照ができるようにすると、高温プラズマを理解するためにきわめて有意義な実験となる。しかしそれには通常多大な経費と労力を要するので、わが国の現状では格段の努力とくふうがいる。

(3・2) 発生装置 発生装置では保持が最大の課題といえる。現在まで各国で提案され着手された十数種類の形式は、おもに保持と加熱の原理で区別されてい

第 3・1 表 日本の高温発生装置の現況

電源：C, DC, HF はそれぞれコンデンサ，直流，高周波発振器を示す。

(昭和 35 年 3 月 現在)

形 式	研究機関	発 生 装 置	電 源	現 況 (A)	将 来 計 画 (B)
直 線 状	阪大理・工学部	直線状シラー たいこ状トランストロン プラズマジェット	C: 110 kJ(50 kV), 18 kJ(15 kV)	(A) 本格実験にかかっている。100 万 A, ピンチ柱の多重円筒形成の証明。不純物の発生の過程。 (B) たいこ状の放電。	
	理 研	10.4 cm ϕ \times 16 cm	C: 16.3 kJ(500 V, 0.12 F)	(A) 完全電離プラズマの測定 $B_z=1,200$, $I_{\max}=60$ kA 2 ms $T_e=30$ eV, T_i =数万度で 300 μ s (B) B_z 20 kG C 25 kJ 排気の改善, 4 ミリのマイクロ波分光の強化。	
	東 工 大	20 cm ϕ \times 27 cm	C: 32 kJ(50 kV, 25.6 μ F)	(A) 磁気プローブと Rogowski コイルによるピンチ電流の空間分布と時間的経過の測定, スイッチの試作研究。	
	名大工学部	Al トーラス 30 cm ϕ \times 105.4 cm ϕ Core 3.75 t B_z : 1,000 G	C: 94 kJ(50 kV) DC: 400 kVA(イグナイトロン) 20 kVA(シリコン) 23 kVA(M.G.) HF: 20 kW (連続 10~100 Mc) (理学部と共同)	(A) 予備実験をはは完了, 高周波予備電離効果, 主放電は 150 kA, 600 μ s 持続 $T_e=20\sim40$ eV, He, $P=10^{-3}\sim10^{-4}$ mmHg (B) ϕ , B_z の高い細いトーラス 2 号。Run away 対策。高周波予備電離の強化。 I_z , B_z プログラム, ミリ波計測, 耐高温プラズマ材料。	
環 状	三菱グループ	ポーセレントーラス 22 cm ϕ \times 120 cm ϕ 12 cm ϕ \times 60 cm ϕ (ガラス) Core 690 kg 直線管	C: 100 kJ 高圧: 30 kVA DC: 25 kW 短 発電機 2 MVA HF: 100 kW(2~20 Mc)	(A) はほぼ完了。 (B) 高電圧大電流の開閉 イグナイトロン	
	電 試	ポーセレントーラス 21 cm ϕ \times 120 cm ϕ B_z : 2,000 G ナクン・イオンゲッター ポンプ	C: 240 kJ(30 kV, 500 μ F) DC: 70 kW (連続) HF: 4 kW (連続 5~30 Mc) イグナイトロン: 50 kA (1,000 A/ μ s)	(A) 予備実験 (B) B_z プログラム, LC 分布回路で時間と波形の Control, Sequence control 回路, Time resol 分光。	
	シラー形	電 試 各 4 turn の Coil (Plasma Curr. 20~40 kA) 5 cm ϕ \times 50 cm		(A) 理 論 (r , Z 方向の運動の解析)	
ミ 縮	日大理工学部	15 cm ϕ \times 650 cm (ガラス) コイル 40 turn I_{\max} 110 kA	C: 288 kJ(60/30 kV, 160/640 μ F) ($L=7$ μ H)	(A) $B=3.3\cdot10^6$ G/s Mirror field 55 kG, 加熱は Shock で行われる, $n=10^{18}$ /cc, 20 万度, ピンチしたプラズマは MHD 波の振動をする。 (B) ビーム注入, 超高真空技術, 粒子エネルギー分布の検討。	
	東 芝	12 cm ϕ \times 60 cm (石英) コイル 10, 20, 30 turns	C: 60 kJ(50 kV) HF: 20 kW(400 kc~27 Mc)	(A), (B) $=10^6$ G/s, $D_2P=10^{-2}$	
	日立一東北大金研	50 cm ϕ \times 120 cm (15 kG) 30 cm ϕ \times 20 cm (30 kG) ミラー比 1: 2 小形トーラス	HF: 100 kW(20 Mc) イオンソース: 400~1,000 V, 100 mA 金研 20 kA \times 350 V	(A) イオン・サイクロン共鳴は今年末でできる予定 (B) 電子イオンのエネルギースペクトル, 金属-ガラスの seal, HF 放電による絶縁破壊が問題, 終端漏れ粒子を Faraday cup で測定する。	
ラ	阪大工学部 (HX グループ)	HX-O 計画 4000 G, ミラー比 2 強力カーボンアーク 加速器 50 kV, 1 mA	HF コッククロフト: 60 kV, 10 mA DC: 250 kVA ディーゼル発電機 5 kG 磁界	(A) ミラー磁界 energetic arc. burn out 前後の現象を対象にす。大電流加速器の開発, 各種 cross section の測定 (B) 本年中に 50 kV, 1 mA で加速器とカーボンアークの組み合わせ実験が可能。	
	磁気流体共鳴	東北大工学部 AWRA-I 30 cm ϕ \times 60 cm	C: 50 kJ(30 kV, 110 μ F) 8 kJ(445 V, 0.07 F) HF=100 kW 1 ms(300 kc) 3 台	(A) 2~5 kG, $p=5\cdot10^{-2}\sim5\cdot10^{-3}$ Alfvén 波の発生を確認。 (B) 3 月中に AWRA II (15 cm ϕ \times 100 cm) ができる。300 kc のパルス振動で Alfvén 波を励起する shock tube の実験。	
		名大理学部 Cu 10 cm ϕ \times 100 cm	DC 50 J($\pm 0.05\%$) \times 120 A (Power transistor コントロール) (工学部と協同)	(A) 3 月末にできる。 (B) ミラー磁界における軌道理論, 粒子の閉じ込め, 粒子の統計別加速宇宙空間での粒子の運動の研究。	
ステラレータ	京 大	ヘリオトロン A (ポーセレン) 8 cm ϕ \times 60 cm 10~30 kG ヘリオトロン B (ステンレス・レーストラック) ステラレータ	C: 86 kJ(12 kV)	(A) ジュール加熱, 磁界分布の予備実験中, ヘリオトロン B は 3 月末でできる	

ステ レ オ レ タ ス	立 体 ・ カ ロ ッ プ	東芝一東大理	テレックス 7 cmφ×平均 400 cmφ (会長 13.2 m) B_z : 30 kG 鉄心: 13 t	HF: 20 kW(400~27 kc) DC: 短絡発電機 35 MVA 衝撃電流発生: 60 kJ(50 kV) (近く 280 kJ になる)	(A) 重水素でオーム加熱をやる。
	8 字 形	東大理学部	8 cmφ×340 cm ステンレス, 20 kG 回転変換角 30°×4 $E < 100$ v/cm 空心 unbake	C: 140 kJ(30 kJ)(磁界用) 18 kJ(60 kV)(加速用) 磁電管: 2 MW, 3 kMv	(A) プラズマペータトロンは組立中, 回転プラズマ, プラズマ線形加速器予備実験

る。いずれも所期の成果をおさめてはいないようである。それは注入されたエネルギーおよび粒子が理解できぬ機構によって速やかに失われてしまうからである。

保持の方法としては磁界による以外には現在考えられない。その場合電磁流体力学でのプラズマの不安定性が問題になる。しかし磁界の配位を適当にすることによって交換形不安定性(ソーセージ, キンク, 縦みぞ形)はおさえられることが明らかにされている。静電的不安定性のほうはまだ対策がない。

完全電離プラズマが磁界(B)を横ぎる古典的拡散の時定数は $20 B^2 T^{1/2} L \ln(s)$ であるから, B を大きくとれば必要な時間プラズマを閉じ込められる。実際にそうならないのはプラズマの不安定性, 局所的みだれまたは振動のためにドリフト現象がおこることによるらしい。

次にプラズマを加熱する場合, ある特定の方向に電流を流すとか, 粒子を加速することになるので, 必ずプラズマは方向性をもち乱される。それが熱運動化されるまでは均質で静かではない。このようなビームとプラズマとの間には協同現象がおこる。これはまだよく理解されていないプラズマの面である。ジュール加熱ではたとえば数 keV 以上の強い逃走電子ビームが発生し, それがプラズマ振動を強く励起し, 大きい拡散損や放射損を招いているらしい。

これらは外国文献の知識であるが, 次節で述べるように, わが国でもわれわれの手で次第にこれらが確認されるようになり, さらに新しい寄与もできることにならう。

(3・3) 国内の概況 核融合を目的とした研究計画は米, ソ, 英では 1948 年ごろから始められた。わが国は 1955 年ジュネーブ会議のバーバー発言以来のことである。1956 年阪大が, 1957 年には電気試験所, 日大, 名大が計画し実験にかかった。1958 年以降は第 3・1 表に示すように 12 研究グループが 16 台の発生装置を計画している。しかし大部分は予備実験の段階の前後であって, 本格的実験結果が出るのは 1~2

年先のことにならう。わが国のとり上げ方をみると工学部門とくに放電関係の研究者で着手された例が多い。そして結果においては外国実験の追試に近いものが多く, 一方理論関係はこれとは別に外国の理論的成果または外国の実験から出た新事実を問題にしているが, 現段階ではやむをえないであろう。わが国固有の着想のもとに理論実験のつながりに必然性ある研究に発展してゆくことが望まれる。それにはわが国では核融合研究の歴史が浅く, 既存の多方面の専門家の協力のもとにすすめられる過程にあるので, 相互の理解の必要なのが痛感される。

第 3・2 表 研究者数と研究費

年度 国	昭和 33 年度 (1958)		昭和 34 年度 (1959)	
	研究者数 (人)	研究費 (億円)	研究者数 (人)	研究費 (億円)
アメリカ	288	104	347	137
イギリス	120	11	150	22
フランス	31	3	60	9
西ドイツ	65	4	110	7
他のヨーロッパ	—	6	—	9
日 本	~40	1.2	100>	2.2
ソ 連 資料はないが, はばアメリカ程度と推定される。				

それとともに研究者の数の問題がある。(第 3・2 表参照) 研究者の養成は主として大学が受けもつべきであるが, 専門の講座は昭和 35 年度に初めて東大, 阪大, 名大にそれぞれ一講座ずつ新設された程度で, 相変わらず研究者の地位の数が少なく, 多くの人が副業的にやっているにすぎない。したがって見掛け上の数と実働人数とは数倍の差がある。諸外国の進歩に刺激されて, とかくわが国の計画がつまさき立ち, 人の用意に先行しがちになるのはやむをえないが, この際研究者の増加を緊急にはかるべきであろう。

研究費は第 3・2 表のようにこれまた貧弱である。完全電離プラズマを対象にすると, 基礎研究として考えても発生用電源, 保持磁界用電源が巨大になり, 計測器も多岐になる。一つの物理量の計測装置は数百万円で, しかも数種以上の物理量の計測を必要とするので, それだけで数千万円となる。各研究グループはこ

第 3・3 表 わが国の研究費（万円）

		昭 32	昭 33	昭 34	小 計	昭 35
文 部 省	機 関 研 究	500 (阪大)	1,746 (東北大, 名大, 阪大)	2,490 (東北大, 東教育 大, 名大, 京大)	4,736	3,900 (東大, 京大, 名大) 阪大, 東北大
	総 合 研 究	—	640 (湯川)	600 (湯川)	1,240	700 (湯川)
	輸 入 機 械	—	—	500 (日大)	500	—
	特 別 経 費		290 (東大)	2,000 (東大)	2,290	2,000 (東大)
原 子 力 予 算		5,341 (電試, 東芝, 神戸工業, 三菱 理研, 関西二井)	10,858 (電試, 日立, 島津, 東芝 理研, 沖, 三菱, 原研)	16,199	未 定	
そ の 他			3,700 (理研所内費) 6,000 (日大)	9,700	未 定	
		各大学講座研究費, 若干				
総 計					34,665 万円	

の点に大きい困難を感じている。

国内の各研究グループの現状は第 3・1 表に要約されている。世界で提案された形の非常に多くの形が着手されている。さまざまな方式で発生した高温プラズマをそれぞれの見方で研究しているのであるが、まだデータが少ないので相互の連絡は密接になっていない。

次に国内の研究体制を眺めてみると、研究の連絡、運営のために下記の各委員会がある。かっこ内は発足の年月で、すでに終結したものもある。

核融合懇談会(昭和 33 年 2 月)

原子力委員会核融合専門部会(昭和 33 年 4 月)

日本学術会議核融合特別委員会(昭和 34 年 4 月)

核融合研究委員会 (B 計画)

(昭和 34 年 4 月～35 年 3 月)

電気学会核融合専門委員会 (昭和 34 年 4 月)

プラズマ研究所設立準備小委員会 (旧昭和 34 年 9 月, 改昭和 35 年 2 月～4 月)

プラズマ研究所 Study group (昭和 35 年 5 月)

専門部会が(昭和 34 年 3 月)原子力委員長あて「わが国の核融合研究のすすめ方」の答申によれば、研究計画を A, B にわけろ。A 計画は各大学研究所・会社の基礎研究, B 計画は外国である程度成功をみた形を参照して中形(数億円, 数百万度)装置を作り研究の強固な場とする, 双方を平行に進める, というこ

であった。学界は世界の研究の現状を分析し、現在は基礎研究に重点をおくべきであり、B 計画は Timing に慎重でなければならないという結論を出し、昭和 35 年度実施を見合わせる事となった。一方、昭和 34 年秋の学術会議で文部省管下にプラズマ研究所を設立する提案が認められ、目下その準備が進行中で昭和 36 年度より発足することになろう。

(3・4) 結 語 超高温プラズマの研究は核融合という大きい応用の目標をもつて単純な意味の基礎研究とは異なる。関係する分野が基礎物理より産業技術にわたっていることも特異であって、1958 年のジュネーブ会議で、Artzimowitch 氏(ソ連)や Post 氏(米)の講演にもあるように、物理学者と技術者との協力がきわめて本質的である。直接核融合を目標としてでなく、その前段階の高温プラズマの研究をいううえにも別稿に述べられるように計測や技術の諸問題の解決にせまられている。電気工学の立場からみるとこれらはいずれもきわめて緑の深い課題が多いので関心が高められつつある。たとえば、プラズマの基礎研究用に電離度の高いプラズマの簡易な発生装置(温度は 10 万度ぐらゐ)が考えられてよいように思われる。またここでは触れなかったが、プラズマを利用する直接発電はアメリカでかなり具体性をもって研究されている。電気工学の立場から見のがせないことのように思う。

4. 高温プラズマ発生装置に関する技術的問題

以下、各論にはいるに先だって、座長を法貴四郎氏から電気学会核融合専門委員会委員長 小島昌治氏に交替した。

4.1 挨拶

小 島 昌 治 (核融合専門委員会委員長)

核融合については上に述べられたような情勢であるが、この状況のもとに電気学会では昨年7月、“核融合に関連した電気技術の調査研究”を目的として核融合専門委員会が設置された。そしていままで9回の委員会が開かれ、いろいろな技術的問題が調査研究された。これから各論的な問題に移るのであるが、どういふ問題を取り上げるかについてもこの専門委員会で検討した。

核融合に関連した技術的問題というと、非常に範囲が広く、また核融合が世界のどこにおいてもまだ成功していないことが示すように本質的な問題もある。しかし、わが国の現状は高温プラズマ発生装置が各地に作り始められたという段階であるので、これから討議する問題は装置建設の初期に現われる技術的問題がおもである。どんな装置を作るにしても、第1に必要なものは電源であり、それに付随してスイッチの問題がある。次にプラズマを入れる容器、それを充分によい真空にする必要があるが、その真空技術、プラズマの閉じ込めあるいは加熱のためのコイルの設計、高周波加熱の問題、また DCX のような装置ではイオン注入の問題がある。これらはいずれも装置に関連したものであるが、装置の研究には計測が必要であり、これに関する技術的問題もある。これらの問題について順次講演を願い討論を進めていきたいと思う。

4.2 電源設備および回路技術

森 英 夫 (電気試験所)

高温プラズマ発生装置の電気回路は、電源、スイッチ、コイル、放電管(プラズマ)およびこれらを結ぶケーブルからなっているが、このうちスイッチ、コイル、放電管については他の部分で詳述されるので、ここでは電源の問題とこれらの各部を結んだ場合の総合的な回路技術について述べよう。

(a) 電 源 現在多くの高温プラズマ発生装置は、パルス放電を利用しているが、その周期または持続時間は数マイクロ秒から数百ミリ秒程度で、この間に電源から放電されるエネルギーは数百キロジュールにおよび、このように大きな電力を配電設備から直接

とすることはほとんど不可能である。したがってなんらかのエネルギー貯蔵装置を用いて、充分な時間をかけて蓄えたエネルギーを短時間に負荷に供給する形をとる必要がある。エネルギー貯蔵の方法としては、次の4種類が考えられる。

- (i) 静電エネルギーとしてコンデンサに貯える。
- (ii) 電磁エネルギーとしてインダクタに貯える。
- (iii) 機械的エネルギーとして回転機の回転部分に貯える。
- (iv) 化学エネルギーとして蓄電池に貯える。

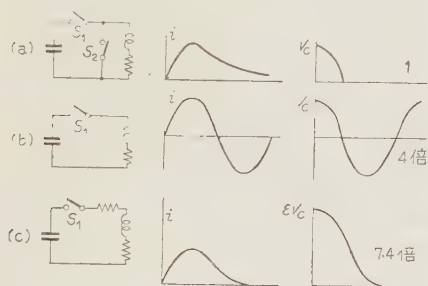
これらの諸方法のうちのいずれを用いるかは、負荷の要求を考慮し、種々の方法を用いることができる場合には、充分な経済性の検討を行って決定すべきである。これらの方法のうちのもっとも特徴的な相違は放電時間であって、放電時間がきわめて短く、マイクロ秒の大きさの場合はコンデンサ、ミリ秒の大きさではインダクタを用いるのが有利であり、放電時間がさらに長く、秒および分の程度になると、それぞれ回転機および蓄電池を用いるのが適当であると考えられている。

電源の経済性という問題はなかなかむずかしく、たとえば直流磁界を作るための電源を選ぶ場合、コンデンサ放電を利用すると時間的变化があることは避けられないし、交流発電機の出力を整流して用いるとリプルははいるから、これらの変動をどの程度許容できるかが問題となる。また価格が安くても、保守が面倒であったり、寿命が短くしばしば取り換えを要するものは、結局運転を阻害するから、単に貯蔵エネルギーキロジュールあたりの価格の比較を行うだけでは不充分である。

(b) 回路技術 高温プラズマ発生装置は、電源に貯えたエネルギーを誘導性の回路に放電する形をとり、その電流最大値と通電時間はプラズマからの要求で決まるのが普通であるから、この両者を満足する回路を設計し、しかもプラズマへのエネルギー注入が効果的に行われるためには、回路のインピーダンス整合に充分な検討を加える必要がある。また回路を構成する要素は、運転の仕方でも寿命に相当の影響を与えるので、この点の考慮も重要である。コンデンサおよびインダクタを電源とした場合について二三の例をあげて説明しよう。

充電装置を含めて、コンデンサの価格は大体貯蔵エネルギーに比例するからキロジュールあたりの価格は一定である。インダクタの場合は、貯蔵エネルギーが増すにつれて充電電源の価格の割合が減少するから、キロジュールあたりの価格は減少する。この関係は第4・1図に示すとおりで、曲線の交点は100 kJ 前後にあるという報告がある。⁽¹⁾

(1) コンデンサを用いた回路 第4・2図にコンデンサを電源として用いた回路の例を3種示す。(a)図はいわゆるクランプ*を用いた回路、(b)図はLCの



第4・2図 コンデンサを用いた種々の回路

減衰自由振動を行わせた場合、(c)図は回路に抵抗をそう入して、臨界制動の状態にした場合の電圧-電流の関係を示したものである。(a)図では回路の電流が最大となり、静電エネルギーが全部電磁エネルギーとなったとき、スイッチ S_2 を閉じると、電流は負荷回路の時間定数にしたがって減衰し、一般に通電時間(周期)は(b)図よりも長くなる。しかもコンデンサの寿命は、誘電体中の電位の傾きのピークピーク値にはほぼ反比例し、くり返し電圧印加回数が増加すると短くなるから、⁽²⁾ (b)図の使用法で(a)図と同じコンデンサ寿命にするには、およそ4倍の大きさのコンデンサが必要となる。またコイルに鉄心を用いる場合には、一方向の電流のみが流れる場合には、あらかじめ逆方向のバイアスを鉄心に掛けておくことができるから、高価な鉄心の量を約半分減らすことができ、非常に経済的である。また一方向の電流のみを流すために、(c)図のように抵抗をそう入して臨界制動にすると、(a)、(b)図と同じ最大電流を得るためには電圧を ε 倍にする必要があり、コンデンサ価格はおよそ

$\varepsilon^2 (=7.4)$ 倍となる。これらの結果から(a)図の回路設計がもっともすぐれていることがわかる。クランプ回路は電流最大値に同期させてスイッチ S_2 を閉じる必要がある、そのさい S_2 の極間電圧は非常に低く、 S_2 としてギャップを用いるのが困難である。クランプ回路の有効な使用には、正確な順序制御と低圧で始動でき、始動ばらつきの少ないスイッチの開発が重要である。

(2) インダクタを用いた回路 基本的な回路は第4・3図(a)に示すとおりで、 S を閉じて L に電流を流し、電流が充分な値に達したときに S を開いて、 L に貯えられたエネルギーを負荷に供給するのであるが、この回路では S を開くとき発生する過渡電圧が電源に害をおよぼすので、充電完了後は電源は回路から切り離す必要がある、実際には(b)図のような回路を用いている。充電完了後 S_1 を開いて電源を切り離し、電流はイグナイトロ I に移される。次に S_2 を開き、数ミリ秒後にヒューズ F が溶断し、その際発生する電圧でギャップ G が放電し、電流は負荷に流れることになる。コンデンサの場合には、一度充電すると放電するまで、エネルギー損はほとんどないが、インダクタの場合には、回路の時間定数の $1/2$ の時間一定電流を流すと、貯蔵エネルギーに等しいエネルギー損を生ずるから、必要以上長時間にわたる貯蔵は避けなければならない。また誘導性回路の直流大電流シャ断技術が重要で、異常電圧発生防止のため多くのスイッチを一定順序で開閉する必要から、正確な順序制御が要求される。

第4・3図 インダクタを用いた回路

インダクタを用いて大きなエネルギーを貯蔵するためには、電流を大きくするには限度があり、必然的にインダクタンスを大きくすることになり、したがって電源の内部抵抗も大きくなる。きわめて小さい抵抗の負荷にエネルギーを供給する場合、エネルギーの多くは電源内で消費されることになり、インピーダンス整合の問題を生ずる。インピーダンス整合は変圧器作用を応用して行うことができる。すなわちエネルギーを貯えるための巻数の多いコイルと電磁的に密に結合した二次コイルを作り、巻数を1~2回として抵抗を低

* 海外の情勢の項の脚注参照。

くし、負荷はこの二次側に接続すれば充分なエネルギーを負荷に供給することができる。第 4・3 図 (c) はこの原理による実験回路の一例を示したものである。回路の開閉の順序は (b) 図と同じである。インダクタに電流を供給する電源は、同じ電力であっても低圧大電流電源よりも、比較的電圧が高く電流の少ない電源のほうが得やすいことが多いから、この方法は適当に利用すれば多くの効果が期待できる。

(3) 順序制御(シーケンスコントロール) すでに述べたように高温プラズマ発生装置およびその測定装置では、多くのスイッチを一定順序で高速度に開閉し、しかもカメラ、オシロスコープなどと適当に同期させる必要があり、精密な順序制御が要求される。順序制御の方法は、くり返し放電周期によって、回転ドラム、リレー、タイムスイッチなどを組み合わせて用い、測定装置との同期はマイクロ秒程度の精度を要するから電子管回路によらなければならない。順序制御の巧拙は実験進行と成否を大きく左右するから、その設計には特に留意する必要がある。

文 献

- (1) H. C. Early & R. C. Walker: Commun. Electronics, No. 31, 320 (1957)
- (2) R. Carruthers: The Inst. of Elect. Eng. Convention on Thermo Nuclear Process, No. 2915 (1959)

質 疑 お よ び 討 論

川俣 電源を選択するにあつて、経済計算を行った例があるか。

森(英夫) アメリカのステラレータ C 形では、プラズマ閉じ込め用直流磁界として 5 Wb/m^2 を必要とし、このための磁界の強さは $4 \times 10^6 \text{ AT/m}$ である。持続時間は 1 s に選んだ。この磁界を供給する電力は実に 100 MW で、この電源として、(a) 回転機によるエネルギー貯蔵、(b) 配電線の強化による直接受電、(c) 蓄電池によるエネルギー貯蔵について検討した。(a) はさらに細分して、(i) はずみ車つき 60 c/s 交流発電機の出力を整流、(ii) はずみ車つき直流発電機、(iii) はずみ車つき単極発電機、(iv) はずみ車つき空心発電機、(v) はずみ車つき高周波発電機および整流器について詳細な価格検討を行い、保守の難易も考慮に入れて比較した結果、はずみ車つき直流発電機を用い、 150 MW の電力を供給することに決定した。発電機の大きさ、はずみ車の大きさ、回転数の関係も考えて経済設計を行ったと報じている。また配電線からこのようなパルス負荷をとることは、電力系統に著しいじょう乱を与えるので不可能であることを示している。なお詳細は次の文献を参照されたい。

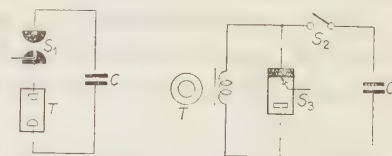
文 献

W. R. Farber, et al.: NYO-7309, p. 240~265 (1956)

4・3 大電流スイッチ

横 須 賀 正 寿 (三菱原子力工業株式会社)

(a) 責 務 プラズマ発生装置では、たとえば 10^{12} W というような瞬間の高電力を注入するために、高耐圧大電流スイッチは不可欠のものであつて、第 4・4 図の使用例のように電源(主としてコンデンサ)と組み合わせられて、プラズマ電流やプラズマ閉じ込め磁界などの発生に使用されている。



(a) 直線放電装置 (b) 環状放電装置
C: コンデンサ, T: 放電管, $S_1 \sim S_3$: スイッチ

第 4・4 図 スイッチの代表的使用例

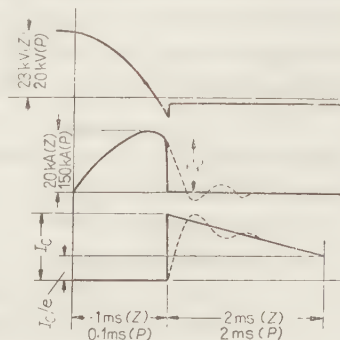
使途上からいえば、これらのスイッチは、

(A) 投入スイッチ 電流変化のきわめて急激なもの、ピンチ放電用など。

(B) 投入スイッチ コイルに放電する場合のように電流変化の比較的緩慢なもの。

(C) クランプ用スイッチ (Crowbar switch)* に大別できよう。第 4・4 図の S_1 , S_2 , S_3 はそれぞれ (A), (B), (C) の代表例にあたる。 S_2 , S_3 の動作は第 4・5 図に示すとおりである。

実例としては、使途 (A) では Columbus II⁽¹⁾⁽²⁾ や阪大装置で電源電圧数万ボルト、電流ピーク値 $1,000 \text{ kA}$ 内外、同振動周期約 $10 \mu\text{s}$ であり、使途 (B), (C)



実線は理想的な波形、点線は現実の波形、数値は (Z) が Zeta, (P) が Pyrotron のそれを示す。

第 4・5 図 第 4・4 図 (b) の回路の動作

* 海外の情勢の項の脚注参照

第 4・1 表 国内各所の要望の総括

使 途	A	B	C
常規耐圧 (kV)	20~50	25~60	10~50
最低動作電圧 (kV)	5	5~10	0.1~0.5
最大電流 (kA)	100~1,400	120~200	120~200
通電時間 (μs)	20~300	100~2,000	3,000~3,000
電流上昇率 (kA/μs)	100~700	1~1.6	1~20
内部電圧降下 (kV)	1	0.5	0.05~0.1
始動遅れ (μs)	0.5~1	4~5	1~5

備考 始動遅れのばらつきは 0.2~5 μs、寿命は 1 万回前後、動作ひん度は 1 回/30 s 前後、インダクタンスは 0.2~0.5 μH。

では Zeta⁽³⁾ や Pyrotron⁽⁴⁾ で第 4・5 図に記入した数値が報ぜられている。また現在わが国各方面で要望されているスイッチの定格を電気学会の核融合専門委員会で調査した結果は第 4・1 表のとおりで、大体諸外国のものと同程度である。

上記の例からわかるように、大電流回路にはいる関係上インダクタンスが低いこと、測定器や他のスイッチとの同期のために始動遅れのばらつきが小さいことが要求され、さらに使途 (C) では動作電圧や内部損も小で、長波尾電流に耐えることが要求される。一方、いわゆる責務サイクルはきわめて小さく、たとえば Zeta で 10 h に 3,500 回といった程度である。また耐圧も動作前には 10~100 kV の高圧が要求されるが、動作直後の逆耐圧は特に要求されないのが普通である。

(b) 形式 大体次の 4 形式に分けられる。

(1) 機械的スイッチ Zeta で使途 (B) に用いられた例があるが、(その後イグナイトロンに変更) 接点火花に弱いので接触変流器と同様に可飽和リアクトルを直列接続する必要がある、動作が遅いことにも難点がある。ただ接点電圧降下が小さいので、クランプ用イグナイトロンと並列に用い、クランプ回路末期電流を負担させる使途が残されている。UCRL では 40 kV、200 kA の高速度スイッチをこの使途のために開発している。⁽⁴⁾

(2) 気中火花ギャップ 周知の 3 点ギャップや始動電力の小さく時間遅れのばらつきの少ない 4 電極ギャップ⁽²⁾ などがある。製作容易、始動遅れ小、耐圧を高くすることも容易などの利点があるが、インダクタンスはあまり低くけないので、AWRE の装置⁽¹⁰⁾ や Scylla⁽²⁾⁽⁵⁾ では多数個を並列に用い、その低減を図っている。並列に使用する場合には、同期に特殊のくふうが必要である。使途 (A)、(B) に広く使用されているが、電極の消耗、放電音、測定器への誘導妨害などの問題がある。また動作電圧は低くできないの

で使途 (C) には用いられていない。

(3) 真空スイッチ 火花ギャップを真空容器中に入れたもので、放電音がでず、また電極ギャップが小さく低インダクタンスである反面、電極の飛散物で電極間絶縁物が汚損する欠点があったが、UCRL ではテフロン絶縁によりこれを解決した。⁽⁶⁾⁽⁷⁾ 同大学で最近開発した 30 kV、2,000 kA のものは、テフロンをステンレス鋼の主電極盤 8 枚の間隔片に用いて気密容器を形成して 10 μHg に排気し、容器外にフロンをつめることによって耐圧の向上を図っている。始動のためには別に針状電極を設けている。この形はインダクタンスがわずか数十 mμH で数千回の放電に楽に耐えるが、低電流域ではかえって動作が不安定であり、また別の形では始動電極の寿命が特に短いことが報ぜられている。この種の形は常時排気の必要な点を除けば種々の長所があり、使途 (A)、(B) に適している。東工大の試作品は単一ギャップ式のものであるが、0.2~55 kV の端子電圧で 0.5 μs 以内の遅れで点弧でき、トリガ回路の出力を大きくすることによって、さらに特性が改善されたと報じられており、⁽⁸⁾ 使途 (C) に使用する可能性も考えられる。

(4) イグナイトロン たとえば Zeta, Pyrotron, Stellarator など使途 (B) や (C) に実用されており、また BTH 社⁽⁹⁾ で管径 5 in、8 in の BK-178 形、UCRL⁽⁴⁾ で 2 in の 5550 形、5 in の 5555 形などについて試験や試作管の研究が行われた。この結果によると、耐圧は一般に 20 kV 内外、電流ピーク値は BK-178 では 5 in 管で 100 kA、8 in 管で 150 kA が絶対限界とされている。通電期間が長いと陰極斑点が器壁に転移してこれを損傷することが最大の問題で、5555 形では電流 2 kA で 60 ms 後、6 kA で 1 ms 後に転移が起るので、UCRL は陰極絶縁を施した 4 in 管を開発して、転移の害を防止できることを明らかにした。BTH では転移なども考慮に入れた上で 8 in 管に 40 kA、150 ms の定格を与えている。大電流の際にイオン衝撃による点弧子支持棒の損傷も経験されている。電流上昇率が高いと陰極点消滅の可能性も考えられないでもないが、BK-178 の 200 A/μs という定格は少なすぎるように思われる。インダクタンスは電極導線の引出し方に注意すれば上記程度の小形管で 0.1 μH 程度になしうるが、UCRL では 19 in の扁平な低インダクタンス管について研究をすすめている。点弧遅れは回路条件のいかんにもよるが、1 μs 程度は可能で、またばらつきは 0.1 μs 以下という例⁽⁴⁾ もある。

イグナイトロンは現在のところ溶接機用などのものが流用されていて、まだパルス用のものとして開発さ

れていない状態であり、上記のように今後多くの研究の必要が残っており、また冷却温度に過敏であるような欠点もあるが、使途 (C) に対しては現在ではもっとも適したスイッチである。

(c) 今後の課題 いままで述べたように、各スイッチにはそれぞれ欠点があり、その克服に新しくふうが必要である。たとえば気中火花ギャップ、真空スイッチで点弧電圧を下げて使途 (C) に実用しようとする試みや、パルス放電専用の特殊イグナイトロンの開発などは今後大いに推進されなければならない。また今後実験装置がますます大形化する関係上、スイッチの大容量化に並行して直並列接続使用の問題の研究も必要であろう。さらに新方式の電力注入回路が考案されれば、それに伴ってスイッチに新たな性能、たとえば消弧直後の耐圧などが要求されることも考えられる。いずれにせよこの種の高電力回路ではスイッチの性能の限界が最大の問題となることは疑いもないことで、今後の活発な研究が望まれる。

文 献

- (1) 2nd Geneva Conf. P/2394 (USA)
- (2) 2nd Geneva Conf. P/1860 (USA)
- (3) 2nd Geneva Conf. P/1519 (UK)
- (4) Trans. Inst. Radio Engrs on Nuclear Science p. 23 (1959-9)
- (5) 2nd Geneva Conf. P/356 (USA)
- (6) Rev. sci Instrum. **30**, 182 (1959)
- (7) Rev. sci Instrum. **30**, 700 (1959)
- (8) 核融合専門委員会資料 No. 2 & No. 9
- (9) The Inst. of Elect. Engrs Convention on Thermonuclear Process, No. 2947 (1959-4)
- (10) The Inst. of Elect. Engrs Convention on Thermonuclear Process (付加論文)

質 疑 お よ び 討 論

松田 200 mm タンク、ポンプ付のものの実験では電流量 45 kA、電流立上がり 2 kA/ μ s まで大丈夫であった。これ以上実験していないので上限は不明である。

森(英夫) タンクを大きくして電流量をカバーするとして耐圧はどうか。わが国では 60~70 kV のコンデンサを用いている所が多い。

横須賀 耐圧を高くするにはやはり格子を入れることになるが電流量は減る。20~30 kV なら格子なしでできよう。普通の溶接機用の標準品でも内部破壊電圧は 30~40 kV である。むしろ外部のフラッシュオーバーが問題となる。コンデンサの電圧にスイッチを合わせるというのではなく、先に総合的設計をすべきと思う。ただし電圧が高くなると電流は減るはずだから、なにか考え得ると思う。

山田(直平) 順電流から逆電流に移る時間はどれ

くらいを想定しているか。

横須賀 順電流の後に逆耐圧を要求するのではなく、電流が流れる前だけ耐圧を要求するのである。

山田(直平) 普通の意味の逆耐圧と異なるので、大分楽になると思う。格子も普通の意味と異なる。

河合 少し経験を述べると、クランプ回路付の投入スイッチでクランプ回路が正当に働かない場合には、投入スイッチに逆電圧が相当かかってその責務が過酷になる。この場合投入スイッチの保護という点からもクランプ回路は確実に動作させたい。

川崎 日大の装置は 60 kV, 110 kA 程度の電流を流すが、この回路のクランプ用イグナイトロン、またはスイッチの開発を学会で考えて欲しい。

中野 試作した真空スイッチは 50 kV 耐圧で 200 V 以下で動作するから小改造で利用できると思う。

4.4 プラズマ容器

松田 仁作 (東京芝浦電気株式会社)

放電管は当初直線形円筒状のものを使用したか、管の端末における損失をなくするため、円形放電管を用いるようになった。ピンチ形の試験でコンデンサエネルギーが増大したとき、ガラス管にひびがはいり、蒸発した。そこで大電流用のすぐれた材料を開発する必要を生じ、石英と磁器が試みられた。これは管径 3~5 cm、トラス径 20~30 cm で、電流 3×10^4 A, 20 kc のとき、石英管は 5 μ s 後に、磁器は 20 μ s 後に蒸発した。ついに金属のみが熱に耐えることが明らかとなった。また金属では大形のもの製作容易である。以下主として金属容器の問題点を述べる。なお器壁の熱的ひずみによる疲労と中性子の放射による障害はまだ経験されていないが、将来の核融合炉では問題となろう。

(a) プラズマの不純物 重水素が 10^9 K で融合するとき発生するエネルギーは制動放射損の 9 倍にすぎない。これより重い不純物が少量でも混入すれば放射損が著しく増加し、炉の効率が低下する。また加熱の初期に不純物が存在すれば、温度の到達すら困難となる。

(b) 壁材の熱的蒸発 $10^8 \sim 10^9$ K のプラズマからは軟 X 線の放射を大量に受ける。壁はこれを吸収して温度上昇し、蒸発するようになる。たとえば 10 s の反応周期中壁の温度は一定とし、腐食率 (atoms/cm²·s)、分子の質量、壁材の沸騰点を考慮して 10 % の放射損の増加に対する壁の許容温度の最大値 θ_{\max} が計算されている。また壁の外側の温度を 400°C、壁の

内側の温度を θ_{\max} に保ち、壁の厚さを 1 cm としたときの熱流、次に同様な条件のもとに 100 W/cm^2 の熱量を通す材料の厚みが計算されている。

金属のベースに薄い絶縁層（たとえばベリリア）をつけると有利である。これは蒸気圧が低く、比較的熱伝導率が良好であるためである。

長い反応周期中のプラズマからの放射に加えて、短期間の熱のパルスが器壁にあたる。たとえばピンチ形では放電の初期に壁に大量の熱が流れる。場合によってはこのほうの影響が大きい。

(c) 壁面のスパタ 十分なエネルギーを持ったイオンが壁面をたたくときにスパタが起る。これは壁の温度には無関係のようである。スパタ率(atoms/ion)は当初エネルギーが $5\sim 50 \text{ eV}$ 以下のイオンでは零である。一般に数 keV のエネルギーでは $1\sim 10 \text{ atoms/ion}$ である。これは投入イオンの質量とともに増大し、またエネルギーが増加して、クーロン断面、したがって衝突数が減少するに伴って低下する。

スパタによるプラズマの不純物と熱的な蒸発によって生じたものと比較すれば、壁の温度の最大許容値における蒸発と同程度の腐食を生ずる 100 keV の重水素の電流密度はベリリウム、アルミニウム、銅でそれぞれ 5×10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} A/cm^2 である。スパタが現在の放電管から特に検出されていないのは、イオンのエネルギーが低いためである。

(d) 発弧現象 金属容器には発弧という特有の問題を伴う。これは現在の装置において経験されたプラズマの不純物発生のおもな原因となっている。

(1) パワアーク 円形放電管を金属で製作すれば、誘起電圧を短絡しないようギャップを残しておく必要はない。放電時にはギャップに電圧がかかるとともに、ギャップはプラズマにさくされる。ギャップ電圧がアーク電圧より大きいと、アークがギャップを短絡する。そこで供給されたエネルギーの大部分がこのアークで消費される。このアークをパワアークという。2 個のギャップを備えた最初の金属トーラスは、発弧のため 10^4 A 以上の放電を行うことができなかった。これが解決策は管を多数のギャップによって分割し、各ギャップの印加電圧をアーク電圧以下にすることである。しかし不安定な放電により電位分布が不均一になる。

AEI で製作した 48 と 64 のギャップを有するトーラスでも、ギャップの平均電圧はわずかに約 10 V にすぎなかったが、ギャップにアークが発生した。64 ギャップのトーラスで 75 kA の電流まで通したが、プラズマはアークによるアルミニウムの蒸気によって

ひどく汚れた。

Harwell Mk III トーラスおよび ZETA においてトーラスの内側にアルミニウムライナが使われている。そのうえ放電を安定させるため管軸方向に磁界を加えている。放電が安定するとパワアークは生じない。AEI の Scepter III は軸方向磁界を有する 8 ギャップトーラスであるが、銅シールドでアルミニウムギャップをカバーしたにもかかわらず、パワアークが依然として起きている。

アーク放電を防止するため、グローからアークへの移行を妨げるような材料、あるいは表面処理を見出すため研究が行われた。小さい電極を 1 kA の水素の環状放電のプラズマ中に浸して、アーク放電の量を著しく低減させるのに成功した。特定の条件の下でアークを電極面上で形成させることによって電極はコンジションされた。試験に供した金属はすべて、環状放電がアークになる確率は初めに 1 であったものが、放電させればさせるほど減ることがわかった。たとえば 10 cm^2 の銅電極間に印加された電圧が 4 kV になるまで実施し、この確率は約 100 回放電で約 0.01 に低下した。化学的処理あるいはベークにより面処理に必要なアークの数は減ったが、コンジションの必要を取り除く処理法は見出されなかった。

なお壁の電流を抑制するための方法として次のものがある。薄い壁を用いて電流を許容値に押えるものは電圧の高い装置では電流が大きくなりすぎる。高抵抗による方法は金属では見込みがない。高インダクタンスによる方法では壁を連続した、らせん形にする。これは壁に流れる電流により軸方向磁界を作る欠点がある。

(2) 単極アーク Mk III トーラスおよび ZETA はパワアークが生じない状態で操作したとき、ライナに陰極点の跡がはっきりと残っていた。この電流値は 10^3 A のけたである。これを持続するエネルギーはプラズマの熱エネルギーから引き出される。この放電形式は高温プラズマと接触する金属壁に特有なものである。アークスポットは電子だけでなく金属蒸気を放出する。すなわちアーク中を通過する 1 クーロンにつき $10^{17}\sim 10^{18}$ 個の原子が気化され、数 アンペアの電流でも許容値以上の不純物を生ずる。

単極アークの極性について述べれば、ライナが負の電位を得るのは壁電位として知られている。しかしプラズマを磁界で保持する場合には、荷電分離のため器壁は正の電位を得ると考えられる。実験結果は壁がプラズマに対して負であることを示している。これは閉じ込めが不安定なためであろう。

アークスポットを維持するには普通最低 1 A の電

流が必要である。プラズマにさらされた各金属面の面積がこの電流を集めるのに足りないならば、アークは形成されない。しかしこれは技術的に相当困難で、いまだ大規模に試みられたことがない。なお容器の材料の適切な選択と処理（排気とコンジション）によって単極アークを防止できるかどうかについて研究されている。

(e) プラズマの安定 ピンチ形放電は本来不安定で多くの姿態の不安定性がある。その重要なものはのたうつ不安定性として知られているものである。これが放電のわずかなキックを喚起し、結局プラズマがこわれるようになる。このような不安定性が金属管中で発達するならば、管壁に誘導されたうず電流が磁界を生じ、これがのたうちを抑圧する。それゆえ最初はこの効果が不安定性を制御すると思われた。しかし金属シースでおおわれたガラストラスの実験では、金属シースがない場合に不安定性を生ずる電流よりわずかに大きい電流に対して安定が得られるにすぎないことが高速度カメラで観測された。のたうちが壁のすぐ近くにくるまでは、短い波の不安定性から起る不安定力とうず電流とが釣り合わない。また長い波の不安定性を防止するためには、トラスの壁が軸方向に導電性を維持しなければならない。それゆえトラスに設けたギャップは安定化を妨げる。さらに安定を図る一方法として軸方向の磁界がプラズマと壁との間にはいらないようにするには、器壁は θ 方向に閉じている必要がある。

文 献

- (1) J. A. Phillips, et al.: Second Geneva Conf. P/2348 (1958)
- (2) E. P. Butt, et al.: Ditto. P/1519
- (3) T. E. Alliborne, et al.: Ditto. P/3
- (4) J. L. Craston, et al.: Do. P/34
- (5) A. E. Robson, et al.: London Conv. P/2948 (1959)

質 疑 お よ び 討 論

森(茂) 放電管のインダクタンスを増すにはどのようにするか。放電時に短絡状態にならないか。

松田 放電管の金属壁をらせん形にし、その巻線間を絶縁する。らせん形に基づくインダクタンスが大きいので、短絡状態にならない。しかし電圧印加瞬時に進行波により層間絶縁を破壊することがある。

中野 アークを防止するため、並列抵抗により多数のギャップにかかる電圧を均一にしてはどうか。

松田 過渡時にはコンデンサ分圧となるが、並列抵抗は場合により有効だと思う。しかしギャップの電位差がアーク電圧より相当低くなっても、これとは別に壁電位が単極アークを維持するくらいある。ところがこれによって全体が短絡状態になることはない。

河合 ギャップはアークによりどの程度に損傷するか。

松田 アークスポットは放電電流の作る磁界により放電管にそって駆動され、ギャップにはいる。それゆえ損傷ははげしい。

安藤 金属壁の内側に絶縁物を用いた容器の将来性はどうか。

松田 高エネルギーの重水素やX線により絶縁物が分解されるので、最終的には純金属の容器になるだろう。

4.5 真 空 技 術

森 茂 (東京大学理学部)

(a) まえがき 核融合を実現させるプラズマでは、励起、制動放射などによる損失の原因となる不純物を、極力少なくしなければならず、そのためには真空技術も本質的な貢献をするものと考えられる。しかし、以下では、もっと身近な現在の研究を中心にして考えてみよう。⁽¹⁾

現在の核融合研究装置を真空技術の断面でみれば、高速粒子注入方式とその他のもの（便宜上放電方式と呼ぶ）に分けられる。前者では、真空中に粒子を注入、蓄積するが、中性の残留ガス、出ガスが蓄積を妨げるので、注入される部分の圧力はできるだけ低いことが要求される。後者の放電方式では、あらかじめ排気された基礎真空中にガスを充てんし、その電離によりプラズマを形成する。したがって、不純物を減少させるために基礎圧力の低いことが要求される。

いずれも圧力の低いことが要求されているけれども、その要求される理由は両者で異なっている。したがって圧力を判断の基準とすることはできない。

真空容器の到達圧力 P は、排気速度を S 、真空容器の出ガスと漏れガスの和を Q とすれば、 $P=Q/S$ で与えられる。注入方式では、 Q がある程度大きくても、真空中のガスの流れを考えない近似では、 S を大きくして P を小さくすることも可能である。しかし放電方式では、放電時は普通排気をとめるので、必ず Q を小さくしなければならない。

(b) 出ガスおよび漏れ プラズマ用真空容器は、もちろん普通の真空容器と同様に、 Q の小さいことが要求されるが、さらに、プラズマの構成粒子あるいは高速注入粒子により衝撃されるので、この際の出ガスあるいは衝撃粒子の再放出も問題となる。この出ガスあるいは再放出による悪い影響を避けるには、出ガスあるいは再放出の少ない材質を使うことと、これらの原因となる衝撃粒子を少なくすることなどが試み

られている。たとえば、ステラレータには、衝撃しようとする粒子を、その荷電を利用して磁力線により別室に導く装置 (Divertor⁽²⁾) がつけられている。

上述の意味での出ガスあるいは再放出については、現在表面物理学的に研究されているが、特定のいい材料は見出されていない。

プラズマ用真空容器の材質としては、不銹鋼、無酸素銅、アルミニウム、高純度アルミナ陶器、各種ガラスなどが使われているが、詳しくは「プラズマ容器」の項で述べられた。特殊なものとしては、紫外線測光用のサファイヤ、X線測定用のベリリウムあるいはベリリアなどが使われることもある。

ガasket 材質としては、後述の 450°C 程度の焼出し (baking) をする場合は、金、無酸素銅などが使われ、あまり温度の上らないところには、アルミニウム、合成ゴムなどが使われる。

漏れの検出にはヘリウムを使った質量分析式漏れ検出器が使われ、その最高感度は $10^{-9} \sim 10^{-10} \text{ mmHg l/s}$ である。 10^{-10} mmHg 以下の超高真空を目的とするときは、もちろん排気速度とも関係があるが、感度がやや不足である。

出ガスの分析には質量分析器が使われ、真空だけを目的とするならば、簡単なオメガトロンでいい。

出ガスを少なくして超高真空を得るためには、高真空にしてある真空容器の温度を上げて、吸蔵ガス、吸着ガスなどを排気し去って、出ガスを減少させる焼出しという処理が行われる。不銹鋼で 450°C、10 h 焼出しを行くと、出ガスは 1 cm^2 あたり $5 \times 10^{-15} \text{ mmHg l/s}$ となり、これはこのような処理をする前の約 1/100,000 の値である。現在 10^{-8} mmHg 以下の圧力を得るには、すべてこの焼出しによる出ガスの減少に依存している。しかしこのため設計上いろいろな制約をうけている。

(c) 排気系 10^{-10} mmHg 程度の超高真空を目標とするときは、油あるいは水銀拡散ポンプとトラップとを組み合わせたものが普通使われる。しかし超高真空用の油のはい上がり (creep) を防いだトラップでは、そのトラップのつけられているパイプのコンダクタンスの 30% をこえることはむずかしい。したがって排気系としての排気速度は小さくなる。水銀拡散ポンプの場合は 2 段の液体窒素トラップが使われ、油拡散ポンプの場合は 2 段の液体窒素トラップのほかに、焼出された無酸素銅が油の蒸気をよく吸着することを利用した銅トラップも使われる。これは一度焼出せば、数十日効力があり手軽なのはいいが、大きな (10 l/s 以上) コンダクタンスのものは造りにくい欠点があ

る。

超高真空用ポンプとしては、上記以外に冷却ポンプ (Cryogenic pump) が使われることもある。これは液体ヘリウムトラップの表面にヘリウム以外のものを凝結して排気するもので、原理的にはすぐれている。ヘリウムあるいは水素液化装置を必要とするので、高価である。

$10^{-9} \sim 10^{-7} \text{ mmHg}$ 程度の到達真空度を目標とするときは、上述のほかにゲッタイオンポンプ、分子ポンプなどが使われる。ゲッタイオンポンプは 10^3 l/s 程度の排気速度のものが簡単に造られ、トラップなしで有機物による汚染のない真空を造ることができるのはすぐれている。ゲッタ自身の脱ガスには問題があるし、 10^{-8} mmHg 以下の圧力で排気速度が著しく減少すること、希ガスに対する排気速度が窒素などに対するものの 1/10 以下であることなど欠点もある。最近改良された分子ポンプは、機械的なものなので使いやすく、比較的安価である。このポンプも 10^{-8} mmHg 以下の圧力では、ポンプ自身よりの出ガスのため排気速度が下がる。ポンプ自身を焼出せばいいと考えられるが、この点については研究の必要がある。また現在 200 l/s 以下の排気速度のものは造られているが、さらに大きなものは機械的な問題があるようである。

10^{-6} mmHg 以上では、普通油拡散ポンプが使われる。

(d) 例 真空の点に比較的注意して実験しているのは、ステラレータである。これを例として、プラズマと真空の関係について簡単に述べる。

ステラレータ B-3 には、300 l/s の油拡散ポンプと 2 段の液体窒素トラップの排気系と 20 l/s の油拡散ポンプと無酸素銅トラップとがついている。拡散ポンプ油はオクトイル S (Octoil S) で、それぞれの排気速度は 15 および 3 l/s である。B-3 の真空容器の容積は 22 l、真空側の表面積 $2 \times 10^4 \text{ cm}^2$ である。これを上述の排気系をつけて、焼出し後 $5 \times 10^{-10} \text{ mmHg}$ を得ている。⁽³⁾ この焼出した B-3 で得られるプラズマの性質で、焼出しをしない場合にくらべて著しく異なるのは次の 4 点である。

- (i) プラズマのふるまいに再現性がでてきた。
- (ii) 不純物が 1/100 ~ 1/1,000 に減少した。
- (iii) イオン温度が 5 ~ 10 倍になった。
- (iv) ポンプアウト⁽⁴⁾ (Pumpout) の時定数が小さくなった。

最後のポンプアウトは、焼出しをしない場合は観測されないことすらあり、真空あるいは容器の表面の状態が、プラズマのふるまいに影響した例として有名で

ある、基礎真空を 5×10^{-10} mmHg という低い圧力にし、充分純粋なガスを充てんして放電したのにかかわらず、相当 ($\sim 10^{-4}$ mmHg) の不純物が認められている。これに対処するには、基礎圧力をさらに小さくするだけでなく、(c) 項の項で述べたプラズマ衝撃に対する考慮をしなければならない。

文 献

- (1) 核融合に関係する真空技術特に超高真空技術の総合報告としては、次の2編はすぐれている。
D. J. Grove: 1958 Fifth International Symposium on Vacuum Technology Transaction p. 9 (Pergamon Press 1959); G. L. Munday: Nucl. Instr. **4**, 367 (1959)
- (2) C. R. Burnett, et al.: Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, **32**, p. 225 (1958)

注

- (1) B-3 の真空容器には一部陶器などが使われているが、大部分不銹鋼である。簡単のため全部不銹鋼とすると、出ガス量は 2×10^4 (cm³) $\times 5 \times 10^{-15}$ (mmHg l/cm³) = 1×10^{-10} mmHg l/s となる。漏れがなければ 18 ls のポンプで排気して $\sim 5 \times 10^{-12}$ mmHg となる。得られた真空度 5×10^{-10} mmHg から推測して 10^{-9} mmHg l/s 程度の漏れがあると考えられる。
- (2) ジュール加熱の途中において、プラズマの粒子密度が急激に減少する現象をいう。この現象は、理論的には保持されたプラズマに不安定性が予測されないときにおきたので、未知の現象として集中的に研究された。現在では逃走電子によるプラズマの振動励起のためにおこる不安定性に原因があるとされている。(静電不安定性)

4-6 コイルの設計

高 砂 常 義 (日立製作所)

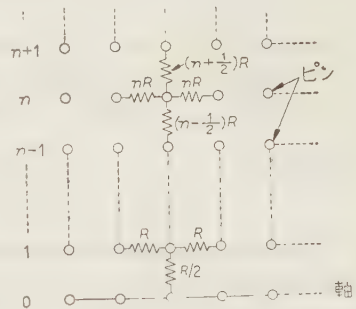
(a) 緒 言 高温プラズマ発生装置に使用されるコイルはいろいろあるが、大別するとプラズマ閉じ込め用磁界コイルとプラズマ発生用および加熱用コイルの3種になる。このうちプラズマ発生用コイルは、他の方法でプラズマを発生させれば必ずしも必要でない(たとえばアークを点ずればよい)が、他の閉じ込め用および加熱用コイルは、高温プラズマを発生させる上にきわめて重要な役割を果すものである。なぜなら、高温プラズマは磁気容器に閉じ込められ、加熱されることにより発生するからである。将来、核融合反応が実用化されるか否かはプラズマの閉じ込めと加熱の方法に左右されるといっても過言ではない。ここでは要求される磁界分布とその強さを得るためのコイル設計上の問題点と二三の実例について述べる。

(b) 閉じ込め用磁界コイル

(1) 磁界の強さの計算 プラズマを閉じ込めておくのに必要な磁界の形状は、すでにいろいろ提案されているが、これらの要求に合致したコイルを設計するには、いろいろのコイル形状によってどのような磁界分布が得られるかを知ることが必要である。もっとも簡単な円コイルによる任意の点の磁界の強さは、

多くの人々により計算され便利な表が作られている。⁽¹⁾ しかし、円筒形ソレノイドやもっと複雑な形状のコイルに対しては、計算が著しく煩雑になるのであまり実用されていない。

そこで、もっと実用的な方法はコイルによって作られる磁界をアナログ的に求める方法で、最近広く利用されるようになった。これは磁界と他の量との類似性を利用して磁界分布を他の量(たとえば電位)に置き換えて求める方法で、これから逆に与えられた磁界を作るコイルの配置を決定することも容易である。アナログ的に求める方法の中で、もっとも広く用いられているのは電解液による方法と抵抗回路網による方法である。前者は古くから行われ電解液そう法と呼ばれている。後者は最近開発された方法で、要求される磁界に合致するコイルの設計をきわめて能率的に行うことができる。その原理を第4-6図に示す。格子状に配



第4-6図 抵抗アナログ盤の原理

列されたピンと隣り合った四つのピンとの間には一定の関係を持った抵抗が接続されて、抵抗アナログ盤を形成し、コイルに対応するピンの位置からコイルのアンペア回数に比例した電流を流して、そのときの等電位線を求めれば磁力線および磁束密度が求められる。なお、これらのほかに流体図法や図式解法によっても求められる。

(2) コイルの形状と方式 前節でコイルの配置がほぼ決ったとすると、次にもっと具体的にコイルの導体の形状、巻き方、絶縁、冷却方式および機械的強度に対する検討などを行わなければならない。そしてもっとも経済的な設計でなければならない。

コイル導体には丸線、平角線、中空導体などがあり、これらの巻き方にも数種の方法がある。いずれを選ぶかは装置の磁束密度、運転時間などによりコイルの電流密度、冷却方法、製作の難易などを考慮して決定される。ただし、注意すべきことはコイルがもっとも経済的に設計されたとしても、その電源を含めた全体としては必ずしも経済的であるとは限らないことで、電

源設備費が大部分を占めている場合コイルに特殊な冷却装置を設備し、消費電力を減少させたほうがより経済的な場合が多い。これらの観点から、液体水素などにより冷却することが試みられている。⁽²⁾

コイルの形状と関連して考慮しなければならないことの一つに電磁力がある。強磁界発生装置では大電流を通電するので、この電磁力は数十トンまたはそれ以上になることもまれでない。したがって構造系は機械的強度を充分検討して設計されなければならない。このような機械的強度の限界を解決するため、“Force free coil”と呼ばれるものが考案され試作されている。⁽³⁾ これは力を広い範囲に分散して圧力を小さくしたものである。

(3) コイルの例 磁界コイルの具体例を磁界の形状から分類してみると、次のようになる。

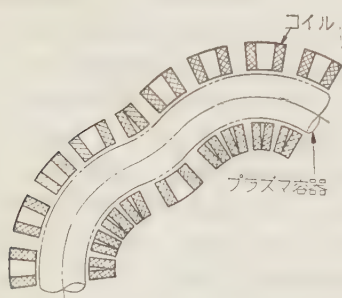
(i) 一様磁界 例、ステラレータの直線部、アストロンの中央部など。

この場合軸方向だけでなく半径方向にも一様性の保たれているのが理想的であるが、無限長直線の場合を除き厳密に一様性を保つことは困難で、ある程度の不均一がある。

(ii) ミラー形磁界 例、パイロトロン、DCX など。

プラズマの閉じ込めを有効に行うための磁気鏡で、ミラー比の大きいほど効果的である。コンデンサ電源の放電によって大電流を瞬間的に通電する場合と直流大電流で定常磁界を作る場合とがある。

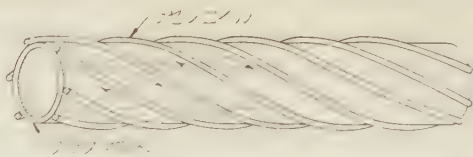
(iii) トーラス形磁界 例、ゼータ、ステラレータの一部。(第4・7図)



第4・7図 ステラレータのトーラス形コイル (スキュロップス部分)

ドーナツ状放電管に巻いたコイルによって作られ、軸方向に一様性を保つことは容易であるが、半径方向には一様性は保たれない。

(iv) ら旋磁界 例、ステラレータ (第4・8図) かなりゆるいピッチで巻かれた何対かのら旋コイルに



第4・8図 ステラレータのら旋コイル

互に逆極性の電流を通じて得られる。放電管内の磁界は、ら旋状に変化し、一周しても磁力線は閉じないので、電荷分離を防ぎ、かつ安定化するために考えられた。

(v) ヘリオトロン磁界 例、ヘリオトロン

互に逆極性の電流を流す二重コイルを独立に巻いて配置したもので、プラズマが管壁に接触することを防いでいる。ピケットヘンスと呼ばれる磁界はこの特殊な場合である。

(c) 加熱用コイル

(1) 磁気ポンプ用コイル 高周波の振動電磁界によりプラズマを加熱する方法であるので、コイルの高周波特性を考慮して設計されなければならない。通常冷却のために中空導体が用いられるが、コイルの抵抗は表皮効果のために著しく高くなり、かつ真空容器中では対流による熱放散がないので、充分な冷却を考慮する必要がある。

(2) 他のコイルとの電磁結合 高周波磁界により他のコイルに膨大な電圧を誘起することがあるので、通常しゃへいが行われている。この際、しゃへい物に供給するエネルギーが大きくなると加熱効率が低下し、充分高温度のプラズマにならないことがある。

(d) 結 言 高温プラズマを発生するためにはプラズマを効果的に閉じ込めておくことと、それを加熱することが必要で、そのためにはそれぞれコイルによって作られた磁界または電磁界を利用している。この意味において、コイルの設計法は重要な役割を持っているといえよう。

文 献

- (1) たとえば、C. L. Bartberger: J. appl. Phys. **21**, 1108 (1950)
- (2) H. L. Lagner: Proc. of Symp. on Magnetic Field Design in Thermonuclear Research, ORNL-2745 p. 44 (1958)
- (3) H. P. Furth: Scientific American **198**, 28 (1958-2)

4・7 大電力高周波技術

長 尾 重 夫 (東北大学工学部)

高温プラズマ発生装置で高周波電力がどのように使用されているか、また今後使用されるだろうか、“高周波電磁界と荷電粒子との相互作用”といったような

物理的な議論は抜きにして、ここでは高周波発振器の使用目的、周波数、出力、フィードに関連した技術的問題などを取り上げてみたい。

高周波発振器の使用目的には大別して、

- (i) ジュール加熱を容易にするための予備電離用。
- (ii) ジュール加熱後の磁気ポンプ用。
- (iii) 高周波による閉じ込め、いわゆる R.F. 閉じ込め用。

の三つがある。一番多く用いられているのは (i) 予備電離用であって、例として第 4・2 表にそのおもなるものをあげておいた。

第 4・2 表 予備電離用高周波電源

装 置 名	周波数 (Mc)	出 力 (kW)	備 考
名 大 (トーラス)	40	20	管径 30 cm 環径 100 cm
日 大 (ミラー形)	0.4~27	2	管径 15 cm 長さ 380 cm
Zeta	3	3	管径 100 cm 環径 300 cm
Stellarator (B-1)	0.25	10	管径 5 cm 環径 150 cm
Equator	27	2	管径 7 cm 環径 26 cm
Magnetic compression (Kolb)	"	1	管径 5 cm 長さ 30 cm

(a) 予備電離用高周波電源 本格的な加熱たとえばジュール加熱などは大電流ではあるが、比較的弱い電界のもとに行うので、その前に比較的強い電界で気体を電離しておく必要がある。これが予備電離放電の目的である。周波数は気圧 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ mmHg で電離効率が一番よいところに選び、出力は装置の大きさでおおむね決まるとはするが、第 4・2 表に示すように必ずしも統一されていない。実際使用する際には次のような技術上の問題がある。

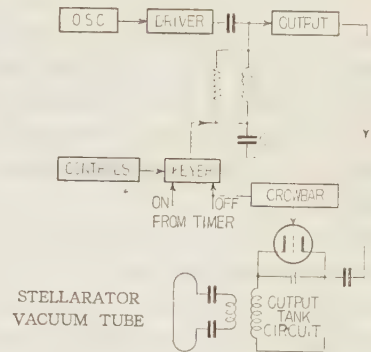
(i) プラズマができるにしたがって負荷インピーダンスが著しい変化をする。これの対策として、(a) 電離がある程度進み、インピーダンスが低下したところで負荷のタンク回路が同調するようにし、初めはむしろ同調から外しておく。(b) プラズマ部をトランスの二次回路にして入力側から見たインピーダンスを初めからなるべく小さくしておく。などの方法が考えられている。

(ii) プラズマ閉じ込め用強磁界の影響があるため、発振管を負荷から必然的にかなり離さなければならない。したがって両者をつなぐケーブルによる損

失、ケーブルと負荷との整合などに注意しなければならない。また同じ理由により高周波トランスの心としてフェライトを用いることもむずかしい。

(iii) プラズマの拡散などを測定するときには発振の Keying の時間的精度を上げる必要がある。そのため負荷タンク回路と並列に短絡用の真空管をそう入するなどの方法が用いられる。

以上の 3 点に注意した結果、ステラレータ B-3 には第 4・9 図に示すような方式がとられている。⁽¹⁾



第 4・9 図 ステラレータ予備電離電源図

(b) 磁気ポンプ加熱用電源 ジュール加熱で百万度程度まで温度が上昇しても、熱核反応にはまだ不十分であるので、さらに加熱を続ける必要がある。第 4・3 表に各種加熱とそれに用いられる発振器の周波数を一例として示す。⁽²⁾

第 4・3 表 磁気ポンプ加熱の一例(重水素イオン)

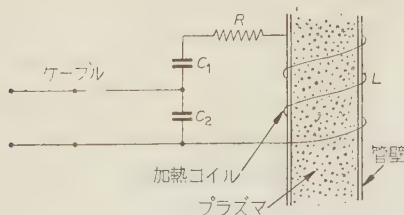
加 熱 方 法	周 波 数 (Mc)	備 考
イオンサイクロ共鳴	~15.4	磁界 2×10^4 G
磁気流体波	≤ 15.4	磁界 2×10^4 G
ジャイロ緩和	~24.5 kc	温度 10^6 °C 密度 10^{14} /cc
音 波	≤ 24.5 kc	温度 10^6 °C 密度 10^{14} /cc
走 行 時 間	~100 kc	加熱部の長さ 1 m 温度 10^6 °C

また必要な発振器の出力は原理的には次の式で求められる。

$$P = \frac{3}{2} NVk(\Delta T/\Delta t)\eta$$

ここに N : プラズマ内の粒子密度、 V : 体積、 k : ボルツマン定数、 $\Delta T/\Delta t$: 温度上昇速度、 η : 加熱効率

たとえばステラレータ B-1 について考えてみると、 $V=4 \times 10^3$ cc、 $N=10^{13}$ /cc、 $\Delta T/\Delta t=10^9$ deg/s、



イオンサイクロ共鳴加熱: $f \approx 10$ Mc, $C_1 = 10 \sim 290$ pF, $C_2 = 2,000$ pF, $L = 0.9$ μ H, ケーブルの $Z_0 \approx 50$ Ω

第 4・10 図

$\eta = 0.1$ として $P \approx 10$ kW にすぎない。将来の問題としては密度を上記の 100 倍以上にし、温度上昇もさらに大きくしなければならないので、1 MW 級の高周波電波も必要となることであろうが、現状ではエネルギーを効率よく注入する機構に関する理論的問題も多く残されている。

第 4・10 図に ステラレータ B-65 で用いられるイオンサイクロ共鳴加熱の回路を示す。

この場合には加熱用タンク回路とケーブルとの整合のため直列に換算したプラズマ抵抗 R が考慮されている。

$$Z_0 = \frac{L}{C_2 R} \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right)$$

そのほかに一般的な問題として考えられるのは

(i) 走行時間加熱などでもっとも必要とされていることであるが、周波数を時間的に大幅に変化させる方法。

(ii) 他の測定を妨害しないよう発振器などを完全にしゃへいする方法。

(iii) 高周波コイルの巻き方、(コイル内の電流分布) などがある。

(c) **R.F. 閉じ込め用電源**⁽³⁾ 高周波の電磁的圧力を使ってプラズマを閉じ込め、加熱と同時に動的な安定化をしようとする試みが二三行われている。プラズマの不安定性は磁界の方向に関係して起きるので、不安定がまだ充分成長しないうちに磁界の方向を変えてしまうのがその狙いである。いまプラズマ内の音速を C_s 、装置の寸法を l とすれば、不安定性の成長時間は l/C_s 程度であるので、これよりずっと速く変化する高周波を使わなければならない。

第 4・4 表に球形の空洞共振器を用いた場合の計算

第 4・4 表 R.F. 閉じ込めの計算例

周波数	球形空洞 半 径	プラズマ 半 径	プラズマ 温 度	プラズマ 密 度	必 要 な 高周波出力
800 Mc	30 cm	10 cm	10^7 °K	10^{14} /cc	26 MW

例を示す。

この例でわかるようにものすごい電力を必要とするが、これはほとんど空洞の金属壁の加熱に使われることになってあまり得策ではない。また理論的にいって果してプラズマの安定化が可能かどうかも詳しいことはまだ明らかでない。

このほか、10 cm のマイクロ波 (400 kW, 120 μ s) でミラーの両端に栓をしてプラズマを逃さないようにする方法、⁽⁴⁾ 三つの異なった周波数の磁界をそれぞれ X, Y, Z 軸方向に作ってプラズマを閉じ込める方法、⁽⁵⁾ 三相高周波で進行波磁界を作り、加熱閉じ込めに用いる方法、などいろいろの提案がある。

(d) **結 論** 以上簡単に核融合の研究に関係した高周波技術の問題点を拾ってみたが、今後開発すべき大きな問題としては、(i) 時間的に変化する負荷インピーダンスと発振器との整合方式、(ii) 大幅な周波数掃引の方式、などではないだろうか。もしこのような技術が進めば、いろいろ物理的な困難はあるとしても、直流的なジュール加熱に代わって R.F. ジュール加熱を取り上げることが可能となるであろう。プラズマの電離加熱、閉じ込めなど、将来高周波電力はますます核融合実験に利用されることと思うので、技術的にも大いに研究開発されることを希望してやまない。

文 献

- (1) Gamblin: Electronics **32**, 50 (1959)
- (2) Berger, et al.: Phys. of Fluids **1**, 301 (1958)
- (3) Butler, et al.: 第 2 回ジュネーブ会議報告 **32**, 324 (P/350)
- (4) Vedenov, et al.: 第 2 回ジュネーブ会議報告 **32**, 239 (P/2501)
- (5) 玉河: 核融合研究 **2**, 520 (昭34)

質疑および討論

川俣 測定をやりやすくするため、タンク回路と並列に短絡用真空管をそう入するというのは、発振を止めるためであるか。

長尾 発振は主発振管のグリッド制御により直ちに止められているが、タンク回路にパワが残っているため、そのエネルギーを別に吸収させるものである。

王河 第 4・4 表の必要な高周波電力 26 MW というのは皮相電力であるか。

長尾 皮相電力ではない。これに Q を掛けたものが皮相電力になる。

4・8 粒子注入装置*

吹田 徳雄 (大阪大学工学部)

(a) 注入の方法 磁気ミラー機器に関する重要

* Injector

な技術的問題の一つは粒子注入に関するものである。保持容器内の冷たいガスを電離してプラズマを作るだけでは、密度およびエネルギーが一般に不十分であって、なんらかの方法によって外部からプラズマあるいは高エネルギー粒子を注入することが必要である。しかしすべての粒子注入に共通な困難は、静磁界中へ外部から注入された荷電粒子は、そのままでは必ず注入口に当たって中和するか、もしくは磁界から出てゆく。したがって粒子が保持されるには、磁界にはいつてから適当な方法で条件を変えなければならない。この方法には大体次のようなものがある。⁽¹⁾⁽²⁾

(i) 保持領域の外部あるいは内部より注入されたイオンまたはプラズマが、保持領域を通過する期間ないしは注入口に再びもどってくる間に、磁界の全部または一部を急に強くする。

(ii) 軸方向に動くミラーによって (i) の役目を果たす。

(iii) プラズマの内部またはプラズマ間の衝突を利用する。

(iv) イオンまたは電子のサイクロトロン周波数に等しい高周波電界を加え、注入された粒子の垂直方向の速度を増大する。

v) 粒子の e/m の値を変える。すなわち分子イオンの解離、中性粒子の電離を図る。

(i)~(iii) は注入を時間的に制限する必要があるが、(iv), (v) は連続して注入することができる。特に (v) の方法は密度の高いプラズマまで適用できるので以下これについて述べる。

(b) 臨界電流 高速粒子で空間を満たそうとすると、残留ガスとの相互作用を考えなければならない。すなわち人射高速荷電粒子は残留ガスを電離、電荷交換によって除去してゆくが、同時に注入粒子は電荷交換で失われてゆく。したがって注入粒子のある値以上で初めて磁界保持による制限値までイオン密度がふえる。この臨界電流は利用する注入の方法によってその値が異なる。⁽³⁾⁽⁴⁾

(i) DCX の場合 (アークによる分子イオンの解離)

$$I_c = e \frac{v_0 N_0 S}{4} \frac{\sigma_{+0}}{\sigma_{+0} + \sigma_i}$$

300 keV, 10^{-6} mmHg では 80 mA の D^+ が必要。

ii. OGRA の場合 (残留ガスによる分子イオンの解離)

$$I_c = \frac{e}{4} \frac{V}{L^2} \frac{\sigma_{+0}^2 v}{\sigma_d^2 (2\sigma_{+0} + \sigma_i)}$$

200 keV, 10^{-8} mmHg では 2 A の D_2^+ が必要。

(iii) 中性粒子入射の場合 (残留ガスによる電離)

$$I_c = \frac{e N_0 V \sigma_{+0} v}{2 R \sigma_{+0}}$$

100 keV, 10^{-9} mmHg では 0.5 A の D が必要。

ただし、 V : 保持容器の体積、 L : 容器の軸方向の長さ、 R : 容器の半径、 N_0 : 残留ガスの密度、 S : プラズマの表面積、 v , v_0 : 注入粒子および残留ガスの速度、 σ_{+0} , σ_{+0} , σ_i , σ_d : 電荷交換、電離および解離の断面積

以上よりわかることは、このような臨界状態すなわち“燃えつき”^{*}を達成するには、いずれの場合も非常に大きい注入イオン流と超高真空を必要とする。

(c) 大電流粒子加速器 臨界電流を考える場合 (b) 項で述べたように、それぞれの形式によって粒子の種類が異なっているから、希望するイオンの種類をより多くするくふうがいる。たとえば DCX の場合にはイオン源は D_2^+ イオンを多くし、アークの解離効率を上げて D^+ イオンを増すか、もしくは Prévot 氏⁽⁵⁾らの提案したように、環状イオン源から加速された分子イオンを、何回もアークを通過させ D^+ イオンの電流をふやす。加速器に関する問題を大別すると、(i) 直流高圧発生装置、(ii) イオン源、(iii) 加速管の三つになる。

(1) 直流高圧発生装置 臨界電流のエネルギー依存性および核融合を目標とする場合には、加速電圧は 100 kV~1 MV の間でよいが、電流は数十ミリアンペア~数アンペア程度の大きなものになる。したがっていまのところコッククロフト-ワルトン形を適当に組み合わせるか、⁽⁶⁾ 静電変圧器⁽⁷⁾ を用いるのが簡単である。前者を使用する場合、電圧降下と電圧変動率を少なくするために周波数を高くするか、各単位ブリッジを単相または三相の全波整流形にするなどのくふうがいる。たとえば Peck 氏⁽⁸⁾の求めた周波数と電圧降下との関係を第 4・5 表に示す。

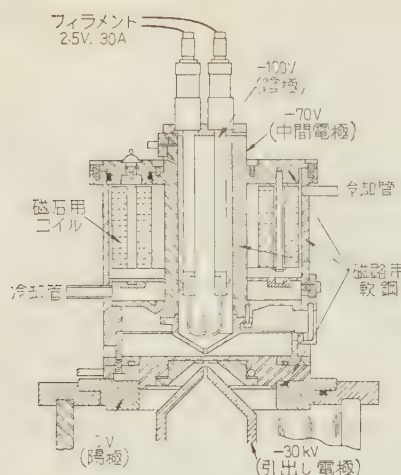
第 4・5 表

周 波 数	電 流 (mA)	電 圧 降 下 (kV)
32 kc	0.5	20
	2.0	25
	8.0	35
800 c/s	0.5	37
	2.0	45
	4.0	55
60 c/s	0.5	105
	1.0	125

入力 15 kV, 出力 180 kV (6×30 kV)

(2) イオン源 粒子注入装置で一番問題になる

* burnout



第 4・11 図 Duo Plasmatron イオン源

のはこのイオン源である。考慮すべき点としては、(i) 分子状もしくは原子状イオンの選択的発生、(ii) イオン流量の大きいこと、(iii) 引出し系のガス効率のよいこと、(iv) 集束性がよいこと、(v) 消費電力が少ないこと、(vi) 構造が簡単であること、などである。

現在多く用いられている発生方式は、(i) 熱陰極アーク放電形、(ii) PIG 放電形、(iii) 高周波放電形の三つである。⁽⁹⁾ 例として DCX 用に設計されたイオン源 Duo Plasmatron を第 4・11 図に示しておく、連続 100~700 mA 程度の電流を得ている。

(3) 加速管 アンペア程度のイオン流を流す場合には加速管内の空間電荷が問題になる。DCX の場合、解離用のアークの直径がきまり、イオン源とアークとの距離がきまっているとビームの広がりに対する要求がわかる。解決方法としては、(i) 加速された後の全領域にわたって空間電荷を中和するか、(ii) 加速管から発散して出てきたビームを電磁レンズを使ってアークの上に焦点をむすばせるなどが考えられる。

管内の絶縁も重要であって、電極の形、ビームと絶縁物との相対位置も注意しなければならない。

以上、簡単に荷電粒子の磁気容器内への注入について述べたのであるが、中性粒子を加速する場合には、上のようにして得たイオンビームをガスターゲットを通過させ電荷交換現象を利用して中性にすればよい。

いまのところ加速器として 1 MV, 1 A というのが

一つの目標であらう。また密度の高いプラズマを注入する方法も今後と上げるべき問題である。

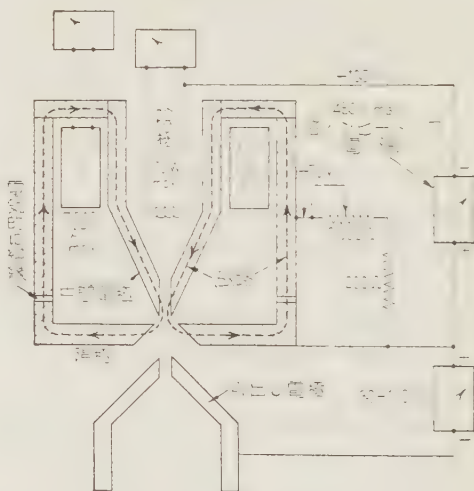
文 献

- (1) R. F. Post: Second Geneva Conf. P/377 (1958)
- (2) T. Consoli, P. Hubert, R. Le Quinio et D. Véron: Nuclear Instruments & Methods **4**, 376 (1959)
- (3) M. Bineau, T. Consoli, CH. Maisonnier et P. Ricateau: Nuclear Instruments & Methods **4**, 290 (1959)
- (4) ORNL Thermo-nuclear Project Semiannual Report: ORNL-2457 (1958), 2693 (1959), 2802 (1959)
- (5) F. Prévot, P. Hubert et C. Gourdon: Comptes rendus **249**, 997 (1959)
- (6) E. Baldinger: Handbuch der Phys. XLIV, 1 (1959)
- (7) 城阪・吹田: 電学誌 **80**, 501 (昭 35)
- (8) R. A. Peck: Rev. sci Instrum **26**, 441 (1955)
- (9) 山本・奥田: 応用物理 **26**, 615 (昭 32)

質疑および討論

山本 Duo Plasmatron の磁路および電極電位はどうなっているか。

吹田 第 4・12 図のように電磁石で作られた磁界は、ハッチを施した軟鋼製の陽極、中間電極を通り磁路をつくっている。したがって中間電極と陽極の壁孔付近では強い磁気レンズないしは磁気ミラーを形成し、陽極に先端を有する円すい状のビームが取り出せる。また電極電位の一列を同図に示してある。注意すべきは両極を電氣的に絶縁するために磁路中に絶縁物がそう入されていることである。



第 4・12 図 電極電位および磁路

5. 高温プラズマの計測に関する技術的問題

5.1 計 測 総 論

高 山 一 男 (電気通信研究所)

一般に計測の方法は対象の性質によってくふうされるものであって、現象の本質と不可分の関係にある。また、新しい計測法の発見は対象をより深く解明するために重要な役割を果すものである。したがって、計測法が確立されたといわれる場合には、現象そのものも実験的に明らかになったことを意味する。

核融合が対象としているプラズマは非常に高温であり、かつ密度もかなり高いものであって、実験室では1950年ごろから注目されているものである。また、プラズマの現象そのものが非常に複雑であり、さらに過渡的なものが多いので計測は容易でない。それゆえに核融合におけるプラズマは若い研究の領域である。

高温プラズマの計測にプラズマ物理の習熟とともに新しい測定技術の開発が切望されている状態にある。

高温プラズマの状態はプラズマを加熱する方法とこれを保持する方法によって左右されることは周知のことである。したがって、加熱と保持の方法の相違によって計測の方法も異なってくるのは当然である。しかし、いずれの計測法によったとしても最後に求めるべきプラズマの基礎量といえば、電子およびイオンのエネルギー分布、密度、衝突周波数、抵抗、電界、磁界および電離率である。また、プラズマの状態とエネルギーの損失および発生を明らかにするためには、プラズマから出る各種の放射(すなわち電波、光、X線、 γ 線、中性子、電子、各種イオンなど)が測定される必要がある。理想的な計測条件としては、上述のこれらの諸量が位置および時間の関数として測定されることが要求される。

現在までに行われている計測法を分類すると次のようになる。

(A) 電磁測定 シャント電流計、ログスキーコイル、磁気探針、ラングミュア探針

(B) マイクロ波測定 伝搬特性の測定、放射の観測

(C) 光学測定 分光測定、瞬間写真

(D) 放射線測定 X線測定、 γ 線測定、中性子測定、各種荷電粒子の測定、不純物の測定

(E) その他

まえに述べたように測定すべき対象が多いので、上

のように全く異なった計測方法が必要になっている。(E)の“その他”のところは、上のいずれにも属さないもの(たとえば電子ビームによる電界の測定)を入れるが、さらに今後新たに開発される計測を期待して設けておいた。

電気工学的に重要な計測の項目、すなわち電磁測定とマイクロ波測定はのちほど別に話があるので、ここでは簡単に今日までに行われている計測を上記の順に概観するとどめる。

(a) 電磁測定 電圧、電流の直接測定から電界、電流、磁界を求め、プラズマの状態を推定しようとするもので、これに属するものにはシャント電流計、ログスキーコイル、磁気探針、ラングミュア探針などがある。ログスキーコイル、磁気探針からはピンチの形体、波形の変動、プラズマの電気抵抗および不安定性についても推量される。

また、プラズマ諸量の理論的關係を利用すれば、プラズマ中を流れる電流、プラズマの圧力なども時間空間の関数として与えることが可能であるから、有用な手段である。

ラングミュア探針およびこれらの変形探針の電圧-電流特性から、電子のエネルギー分布(温度)、イオン温度、電子およびイオンの密度、空間電位などが求められる。

またこれら探針法は簡単であり、低温プラズマの測定には広く利用されているが、高温プラズマになるとじょう乱が増加したり探針からの二次電子、スパッタ、蒸発が予想されるので、利用は容易でないと思われる。

(b) マイクロ波測定 電磁波とプラズマの相互作用からプラズマの諸量が測定される。この計測には、電離層の電子密度の測定に利用されている原理と同様に、外部から電磁波を入射してその反射、透過を測定するものと電磁波がプラズマ中を進む状態を測定するものがある。電離層より密度が高く、体積が小さいので波長の短いマイクロ波を利用することになる。

他のもう一つの方法はプラズマから放射される電磁波のスペクトル、偏光などを測定するもので、具体的な対象として雑音、サイクロトロン放射、赤外線、可視光線および紫外線などがある。これらは放射を利用するので測定のためのじょう乱がない。

電磁波とプラズマの相互作用を特徴づける量はプラズマ周波数およびサイクロトロン周波数である。たと

えば、磁界の影響のない場合には電子プラズマ振動数より低い振動数の波は反射されてしまう。

マイクロ波測定は核融合の計測として有望であるばかりでなく、プラズマ物性の研究に広く利用されている。各方面で多く利用されているものに干渉法がある。これはプラズマ振動数より大きい周波数の電磁波がプラズマを通過するときの位相のずれから電子密度を、減衰から衝突周波数を求めるものである。磁界の影響のある場合には波の進行方向、波の偏光が磁界に依存するばかりでなく、プラズマの不均一性や境界にも関係するので非常に複雑になる。また、この方法ではプラズマ中のマイクロ波の通路全体の電子密度の平均値のみが測定される。干渉法を利用するとプラズマの密度の関係から 1 mm 程度以下の短い波長が必要になるので、ミリ波の技術的開発が要望されている。最近、ミリ波をこえて可視光線の通過の様子から密度を測定する研究がなされている。

プラズマからの雑音やサイクロトロン放射の測定はプラズマ物性の解明とともに開発されつつある。これらの放射の性質が明らかになれば電子温度、衝突周波数、密度などが測定できる。

(c) 光学測定 通常、核融合反応の研究では軽い元素が用いられるから、超高温になると裸の核となって発光しない。しかし、少量の不純物または添加ガスがあり、これが充てんガスと熱平行にあれば分光測定によって温度、密度が測定される。

光を出す原子またわイオンの温度が高いと、スペクトル線の幅が広がる現象はドプラ効果として知られている。ドプラ効果による半値幅はイオン温度の $1/2$ 乗に比例するので、これから温度が求められる。

また発光の際に電界の影響を受けるとスペクトル線の位置がずれ幅が広がる。これはスタルク効果として知られているもので、これからは電子の密度と温度が測定される。スペクトル線の幅の広がりの中にはいろいろな原因があるので、これらの原因を分けなければならない。また放射平衡にない場合やじょう乱のあるときには、諸量を求めるときは注意を要する。このほかにいろいろな線の比較的強度から電子温度などが求められる。分光的瞬間撮影はファブリペロー干渉計と光電増倍管を組み合わせで行う。カメラによる測定はプラズマの形態の時間的位相的变化を見るために用いられる。ある瞬間の形態の撮影に必要な高速度シャッターとしてケル効果がおもに利用されている。またシャッターを電子回路にし、光を電子ビームに変えけい光板に写し、写真にとる方法（イメージコンバータ）も用いられる。連続的に形体を求めるものとして流しカメラ、

こまどりカメラがある。特定の波長範囲は、ろ光板を適当に選んで行うことができる。

(d) 放射線測定 プラズマから放射される硬い X 線のものはあまり問題はないが、柔らかい X 線の測定には困難な点がある。これは X 線のエネルギー範囲と密度によって適当な格子と検出方法を選ぶ必要があるためである。

核融合のプラズマの中に逃走電子のあることが問題になっている。この逃走電子の直接測定が非常に困難であるから、逃走電子が標的にあたって出す X 線のエネルギー分布を短い時間ごとに測定している。

現在、数多くの装置によって中性子が観測されている。しかし、それらの多くは不安定性に起因するプラズマの乱れによって生ずる強い電界での加速によるものである。したがって熱核反応によるものか否かを確かめるためには、中性子の発生、絶対値、角度分布について慎重に測定する必要がある。中性子測定の場合にも総数を求めるものとエネルギー分布を求めるものとは別々に行われる。総数を求めるには活性化計数器、BF₃ 計数管、シンチレーション計数器が利用され、エネルギーを測定するためには核乾板、霧箱、シンチレーション計数器が利用される。シンチレーション計数器は時間の分解能が高く、霧箱はエネルギーの分解能がよい。

プラズマ中の荷電粒子の種類、エネルギー分布などが測定の対象となることがある。普通は、粒子を外部に取り出して質量分析器とほぼ同様な方法で測定する。

中性粒子の検出は電離するか二次電子を測定して検出される。

一般に測定中には電磁的な妨害があるが、これは除かれている。また、放射線の測定には不必要な放射線の混入を防ぐようにくふうがなされている。

質疑および討論

関口 最近、ミリ波をこえて可視光線の通過の様子から密度を測定する研究とはどんな方法か。

高山 最近のイタリアの物理学会誌でみたのであるが、光源として高圧水銀アークの単色光を利用し、干渉屈折計によってプラズマのない場合の干渉しまの位置と、プラズマをおいた場合の干渉しまの位置の差を測定して電子密度を求めている。プラズマから出る光は適当なフィルタを用いているものと思われる。また、遠赤外の分光器で高密度のプラズマ振動を検出したということを聞いている。サブミリ波と遠赤外の領域の研究が進み技術的開発が行われるようになれば、

プラズマの計測は進歩すると思われる。

5.2 電 磁 測 定

中 野 義 映 (東京工業大学理工学部)

高温プラズマ発生装置に関するほとんどすべての測定量はなんらかの方法で電氣量に変換され、ブラウン管オシロスコープなり計数器なりで記録されるので、電氣量に変換されたあとはすべて電磁測定に属することになる。しかし、ここでは特に、(a) 衝撃電圧測定用分圧器、(b) 衝撃大電流測定用シャント、(c) ログスキーコイル、(d) 磁気探針による測定だけについて述べる。

(a) 衝撃電圧測定用分圧器 分圧器については従来よく研究されているが、一般に使用されているものには、(i) 抵抗分圧器、(ii) 補償抵抗分圧器、(iii) 容量分圧器がある。これらのうち、抵抗分圧器がもっとも多く使用される。

抵抗分圧器の高圧側の抵抗器はその要素の対地静電容量が小であるを要し、抵抗体が大形となる場合（無誘導巻き抵抗で、 $1\text{ k}\Omega$ のものが長さ 2 m という例がある）には抵抗要素の対地容量のため、急しゅんな波頭部に対して誤差を生ずる。これは特に電圧波形の急しゅんな直線ピンチ放電管の端子電圧の測定の際問題となる。また衝撃大電流放電による高温プラズマ発生装置では、放電電流および電圧の立ち上がりが大きいため、電磁誘導作用が大であり、大形の分圧器では特に注意を要する。

低圧側の抵抗要素は測定ケーブルのサージインピーダンス、ブラウン管オシログラフの感度などを参照して決定される。

筆者らの直線ピンチの実験では、放電管内初気圧が 10^{-3} mmHg 以下および数 mmHg 以上の場合には気体中放電が起りにくく、抵抗器がときどき焼損した。このような場合には測定精度は抵抗分圧器よりややおとるが、容量分圧器を使用すべきである。抵抗要素の対地容量による影響は各単位抵抗に小容量のコンデンサを並列接続して補償させることができる。

(b) 同軸円筒形シャント 放電回路にそう入される電流シャントに対しては、(i) 周波数特性のよいこと、(ii) インダクタンス、表皮効果の影響が理論的にはっきり求められること、(iii) 低インダクタンスであること、(iv) 機械的に強じんであること、(v) シャントの出力端子を外部誘導の作用をうけることなく同軸測定ケーブルに接続できること、などが要求される。これらの点をもっともよく満足するものとして

推奨されるのが、同軸円筒形シャントである。

シャントの抵抗管の断面積、長さは所要抵抗値、抵抗材料、放電回路の抵抗、放電用コンデンサの充電エネルギーが与えられると一義的に決定される。周波数特性の点より抵抗体の固有抵抗は高いほどよく、抵抗温度係数の小さいものが望ましい。抵抗管の肉厚も周波数特性の点から薄いほどよいが、電磁機械力により変形しないような厚みのものを使用しなければならない。

シャントのインダクタンスを小さくするためには内外導体間の距離とシャントの抵抗値をできるだけ小さくとる必要がある。内外導体間の鎖交磁束によるインピーダンスおよび分布容量の測定誤差におよぼす影響は普通の同軸シャントでは無視できるが、電流端子間の絶縁にはシャントの自己インダクタンスによる電圧降下（電流上昇率が大きいのでこの誘起電圧はかなり大なる値となる）に耐えるようにしなければならない。

シャントの周波数特性は電圧端子間インピーダンスを Z 、直流抵抗を R とすると

$$\frac{Z}{R} = \frac{(\cos \delta \cdot \cosh \delta + \cos \delta \sinh \delta)}{(\sin \delta \cdot \cosh \delta)^2} * \\ * \frac{+j(\cos \delta \sinh \delta - \sin \delta \cosh \delta)}{+ (\cos \delta \cdot \sinh \delta)^2}$$

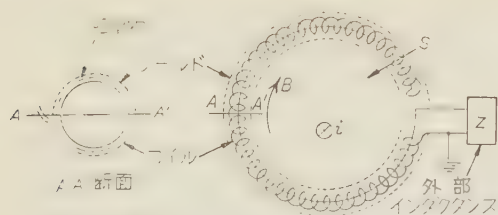
ただし、 $\delta = d\sqrt{\frac{2\pi\omega}{\rho}}$ 、 d : 抵抗管肉厚、 ρ : 固有抵抗

となり、位相誤差がまず問題となる。筆者らの 300 kA 用シャントの例では 1 Mc で、 $|Z|/R=0.98$ 、 Z の虚数部と R との比が 0.3 である。

同一抵抗円筒を外部導体としても内部導体としても、周波数特性は同じであることが容易に証明されるが、測定ケーブルの接続、接地、電流端子などの誘導作用などの点より抵抗管は内部にしたほうがよい。また電圧測定用のリード線は抵抗管の中心にそってはると接地電流および電流端子の誘導を最小にしうる。

このシャントは高温プラズマ発生用として国内では東工大、電気試験所（直線ピンチ形またはシラー形）、東芝、日大（誘導ピンチ形）などで使用されている例がある。

(c) ログスキーコイル 電磁誘導作用により電流を測定するためのコイルで、製作の容易なこと、放電装置に取り付けやすいこと、放電回路のインダクタンスを増加させないことなどの点でよく使用される。原理は第 5.1 図のように電流 i の場の中にある任意の閉曲面 S の周囲に巻かれたコイルの誘起電圧を e 、コイル定数を k とすると、



第 5・1 図 ロゴスキーコイル

$$\oint \vec{i} \cdot d\vec{s} = k \int_0^t e dt$$

となり、誘起電圧を時間積分することにより、電流が求められる。導体棒中の電流を測定するにはコイルを傾けたり、偏心させて巻きつけてもよいことが上式よりわかる。

ロゴスキーコイルの出力電圧は普通測定ケーブルによってブラウン管オシロまで運ばれる。いまケーブルのサージインピーダンスを W 、その入力電圧を e' 、コイルの自己インダクタンスを L 、ラプラス演算子を s とすると、

$$e'(s) = \frac{W}{W + Ls} e(s)$$

もし、 $Ls \ll W$ ならば、

$$e'(t) = \frac{W}{L} \int_0^t e(t) dt \propto \oint \vec{i} \cdot d\vec{s}$$

このように測定周波数に対して L を非常に大としたものでは出力電圧がそのまま電流に比例する。またもし $Ls \ll W$ ならば、 $e'(s) = e(s)$ となり、電流を求めるには適当な積分回路が必要である。周波数特性、コイルの構造上より後者が一般に使用される。

外部からの静電誘導をしゃへいするためコイルの周囲に金属はくなどでシールドを施すが、短絡しないように適当に絶縁物をそう入する。(第 5・1 図) 一部でも短絡すると出力波形は顕著に変化する。

ロゴスキーコイルの伝達関数 $e'(s)/e(s)$ は

$$\frac{e'(s)}{e(s)} = \frac{1}{Ls + r} \frac{Z(s)}{1 - \frac{scZ(s)}{m} \cot m}$$

$$\text{ただし } m^2 = -\frac{sc(L+r)}{s^2LK + sKr + 1}$$

L, c, K, r : それぞれ全巻線のインダクタンス, 対地容量, 端子間直列容量, 巻線抵抗

コイルの周波数特性は上式で $s = j\omega$ とおけばよい。筆者らの行った計算例では 20 Mc 付近まで精確に測定できることが示された。

(d) 磁気探針 磁気探針はプラズマ内の磁界を

測定するための小コイルで、静電誘導を防止するため導体はくなどでしゃへいを施し、プラズマと直接接触しないように石英管またはガラス管で被覆されている。

周波数特性はロゴスキーコイルと同様にして解析できる。

しゃへいは静電誘導を有効に防止するとともに、測定しようとする磁界に影響を与えることが少ないような構造にしなければならない。コイルの周囲全面を金属はくでおおったもの、これに針穴を開けたものも不適である。これはしゃへいはくの面にうず電流が流れ、測定磁界を乱すからである。林氏⁽¹⁾は細い金属線で作られたしゃへい構造を提案し、その効果的であることを実験的に確かめ、細線内のうず電流の測定におよぼす影響を解析した。

磁気探針は実験中その位置を変えるが、その際コイルの放電管に対する角度を変えないよう細心の注意を要する。またプラズマに対する影響を少なくするために、できるだけ小形にする必要がある。アメリカの H. J. Karr 氏⁽²⁾は巻数 20~50、コイル直径 50~60 ミル、内径 0.055 in、肉厚 0.01 in (コイルの部分のみ 0.001 in) のステンレス管でしゃへいし、外径約 0.12 in の石英管で被覆したものを使用した。

筆者らはロゴスキーコイルと磁気探針とを併用して直線ピンチ放電管内の磁界分布の測定を行ったが、プラズマ柱の収縮、崩壊過程、放電管の中心部と管壁部とにおける電流の逆転現象などが明らかとなった。

(e) 測定回路 以上の測定器からの出力はブラウン管オシロなどへ導いて観測するのであるが、放電装置からの強力な電磁誘導、アース振動の影響を受けないようにしなければならない。放電用コンデンサの充電エネルギーが大きくなり、回路のインダクタンスが小さい場合には特に上記の妨害は激しくなり、直線ピンチのように、現象の早いものでは測定が非常にむずかしくなる。これの対策として普通探針出力→RC 積分回路→対称測定ケーブル→差動増幅器→ブラウン管の偏向板という回路がとられている。筆者らの例では放電管のそばで、ケーブルの端子を全部接地しても、放電の際に電磁誘導によりブラウン管がふりきれるほどであったが、積分回路、測定ケーブルを長さ 3 m、肉厚 3 mm の鉄パイプに入れてしゃへいしたところ、ほとんど完全に誘導を除去することができた。またアース振動の除去は、コンデンサの本体を大地より浮かして対地容量を減らすことにより可能となった。

一般に測定の研究は地味であり、たとえばしゃへいの問題などはさいな問題として考えられがちであ

り、先を急ぐのあまり適当なところで片づけられる向きもあるが、予備的検討が充分に行われていないと、いかに大形装置でもその真価が充分発揮できないであらう。

文 献

- (1) 林: 核融合研究 4, 423 (昭 35-5)
- (2) H. J. Karr: Experimental Studies of the Pinch Effect a Symposium on Magnetohydrodynamics p. 40, R. K. M. Laudshoff, (1958)

5.3 プラズマのマイクロ波測定

関 口 忠 (東京大学工学部)

プラズマの荷電粒子密度および電子温度の実測に有力な方法としてマイクロ波測定が重要視されており、すでにかなり多くの理論ならびに実験的研究がある。また実際の高温プラズマ発生装置に適用してプラズマの挙動を詳しく調べるのに利用され始めている。

この方法のおもな長所は、(i) 被測定プラズマ中に特に測定器部分をそう入する必要がなく、したがってプラズマの状態を不当に乱さずに済み、さらに有害な不純物をプラズマ中に注入しないこと、(ii) マイクロ秒、またはそれ以下の時間内に非常に急速に変化するプラズマ内の現象にも時間の遅れなく敏速に反応し、測定が行えることである。一方、短所としては、(i) 原理上、原則としてプラズマ内の特定の一点での密度および温度が直接測定できず、ある空間内の平均しか知ることができないこと、(もっとも、後述するように、マイクロ波回路を豊富に使用すれば、空間内の分布まである程度推定する方法はある) (ii) この方法によって直接測定できるのは、電子の密度および温度であって、イオンに対しては他の方法を用いる必要があることである。したがって、マイクロ波によるプラズマ測定も高温プラズマに対する“探り”の手段として万能とはいえないが、かなり強力な一つの武器となるであろうことは疑いがない。

さて、マイクロ波測定も次の2種に大別できる。

(a) 相互作用法 外部より適当な周波数のマイクロ波をプラズマに加えて相互作用を起させ、プラズマがマイクロ波に与える影響をなんらかの形で観測する方法である。これはプラズマを誘電体とみたとき、その高周波実効誘電率および導電率が電子の密度(プラズマ周波数)、磁界の強さ(サイクロトロン周波数)および電子の衝突数(電子とイオンおよび中性分子との間の平均衝突数、電子温度の関数)によって変化することを逆に利用して、荷電粒子密度および温度を知ろうとするものである。ただし、この方法は温度が高くなると衝突数が減少するため、実効高周波導電率が

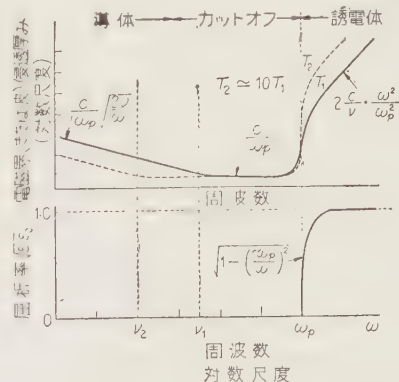
小さくなり、したがってプラズマに吸収されるマイクロ波電力が小さくなって測定が困難となるので、温度の測定には不向きとなり、おもに荷電粒子密度の測定に威力を発揮するようになると思われる。

(b) 放射雑音電力測定法 外部より特にマイクロ波を加えず、プラズマ自体からマイクロ波雑音という形で自発的に放射される電磁波電力を実測し、おもに電子温度を推定しようとするものである。この方法が通常マイクロ波帯で行われる理由は、(i) この周波数領域では既知の周波数帯域幅を持った高感度スーパーヘテロダイン受信機が容易に得られること、(ii) 実験室で通常得られる程度の寸法の薄い(密度の小さな)プラズマでは、プラズマ周波数およびサイクロトロン周波数付近ではほぼ黒体放射に近い熱放射を行い、これらの周波数は通常センチメートル波、またはミリ波領域にくるからである*。

以下に上記の二つの方法について問題点を述べる。

(1) 相互作用法 プラズマに直流磁界を加えると、結晶または磁界中のフェライトのように、異方性物質となり、その等価誘電率はテンソルの形をとる。したがって、これに電磁界が加わると、一般にはかなり複雑な相互作用が起きるが、磁界が無い、またはあってもその方向とマイクロ波電界の方向とが一致していればかなり簡単になる。

第5.2図は、この場合のプラズマの誘電体としての性質を周波数の関係として示したものである。衝突数はプラズマ角周波数 ω_p に対して一般にはかなり小さく、この場合三つの特性周波数領域がある。すなわち、低周波数ではプラズマは金属導体に似ていて通常の表皮効果を示し、中間領域(カットオフ領域)で



第 5.2 図 プラズマの屈折率および電磁界 (または波) の浸透厚みと周波数との関係

* マイクロ波通信の方面では、この問題とは逆に、電子温度既知の放電管より出るマイクロ波雑音を、標準雑音源として積極的に利用することがすでに行われている。

は電磁波はプラズマ中を伝搬できない。一方、 ω_p より高い角周波数 ω の電磁波に対しては、“分散性”の低損失誘電体として作用し、電磁波は減衰を伴って伝搬しうる。したがって、通常は $\omega_p < \omega$ の電磁波を用いてプラズマ内の波長および吸収率の実測より ω_p および n 、したがって荷電粒子密度 n および電子温度 T_e を決定するという方法がとられる。その結果、核融合で問題になる程度の高密度 ($10^{14} \sim 10^{16} \text{cm}^{-3}$) のプラズマを計測するためには、波長 $3 \sim 0.3 \text{mm}$ 以下の非常に高い周波数のマイクロ波を用いる必要があることになる。

一方、直流磁界の方向と電磁波の伝搬方向とが一致する場合、または直流磁界と伝搬方向とは垂直であるが、マイクロ波電界が直流磁界の方向と垂直の場合にはかなり事情は複雑となってくる。たとえば、前者の場合には光学でよく知られている“偏光”と物理的には同種の、いわゆる“フェラデー回転”の現象が起る。これら二つの場合で興味のあることは、電波の周波数がプラズマ周波数よりかなり低い場合でも、プラズマ中を伝搬できる周波数領域が現われることである。これは波長 $2 \sim 3 \text{mm}$ 以下のマイクロ波技術がまだ充分には確立されていない現状では、それほど極端に短い波長のマイクロ波を用いないでも、高密度プラズマの測定が可能であることを示唆するものであり、さわめて重要な点である。

以上の方法を実際に適用するには、電磁ホーンでプラズマと電磁波とを結合させ、任意の瞬間におけるプラズマによる電磁波の移相量変化を、マイクロ波ブリッジで測定する方式が現在もっとも多く行われている。第5・3図はその回路の一例を示す。なおこの方式では荷電粒子密度、または移相量を直接オシロスコープ上に観測できず、解析が煩雑なのでこれをより簡便にするための回路および方式の改良にまだかなりの余地が残されている。また、この方法では電磁ホーンを用いて有限寸法のプラズマと電磁波を結合させるため、回折、屈折およびプラズマ内部および容器壁よりの反射、散乱などの影響をも考慮しなければならず、測定精度向上のためには解決すべき技術的問題が多い。なお、以上の方法では本質的に電磁波が通過するプラズマ部分におけるプラズマ密度の平均値しか決定できないが、周波数の異なる2個以上のマイクロ波、または同一周波数でも互に偏波面の異なる（したがって実効誘電率の異なる）2個以上のマイクロ波を同時に使用すれば、電波の通過する直線上での密度分布もある程度推定できる。

(2) 放射雑音電力測定法 この方法は電波天文

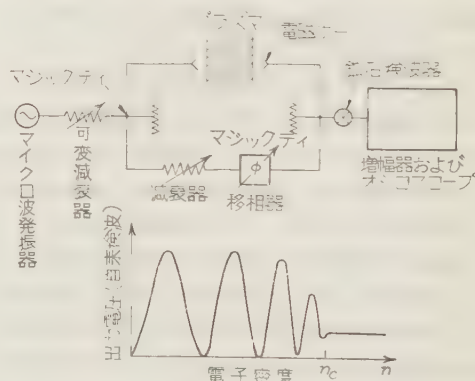
学で太陽雑音を測定して太陽表面の温度を知ろうとするのに似ている。すなわち、高温プラズマから放射されるマイクロ波帯の雑音を電磁ホーンその他の空中線で受け、受信周波数帯域幅既知の受信機を用いて雑音電力の絶対値を実測し、雑音源たるプラズマ中のプラズマ密度および電子温度を推定するのであるが、測定法としてまだ充分完成の域に達しているとはいえない。問題点は大別して次の二つになる。

(1) プラズマよりのエネルギー放射の根本的な物理機構（特に電子のエネルギー分布が非マクスウェル分布の場合）が、まだ必ずしも充分明確になっていないこと。

(2) プラズマよりの放射（一般には三次元的で、あらゆる偏波を含む）と実際に受信機で実測される雑音エネルギー（通常一次的、一偏波のみ受信）との間の関係を正確に知るための測定技術上の諸問題（電磁ホーンの指向性、整合、その他）

プラズマよりのエネルギー放射の物理機構としては、(i) 電子とイオンおよび中性分子との衝突のために起きるいわゆる“制動放射”（ほぼ一様な周波数スペクトル）、(ii) 磁界中で電子がサイクロトロン運動するために特に現われる“サイクロトロン放射”と呼ばれるもの（サイクロトロン共振周波数およびその高調波周波数で特に大きく現われる）のほか、(iii) プラズマ中に起きる各種の振動に起因するもの、(iv) “チャレンコフ放射”と呼ばれるもの、さらに温度が高くなると“シンクロトロン放射”と呼ばれるものも現われるであろうことが推測されており、現在は実験的にこれらの理論を確かめようとする段階にある。

なお、(i) の場合でも、観測周波数帯域がプラズマ周波数より充分高く、また電子の衝突数も小さい場合には雑音電波はプラズマ中でほとんど吸収されるこ



第5・3図 簡単なマイクロ波ブリッジ干渉計およびその電子密度の間数としてのレスポンス

となく外部に現われ（この場合を“透明”と呼んでいる）るが、この場合には制動放射の理論式がそのまま直接用いうと考えられている。一方、上と逆の条件の場合（すなわち、“完全不透明”と呼ばれる場合）にはむしろ平衡熱放射に対するプランクの式、またはその変形であるレーレ、ジーンズの式、あるいはナイキストの式を用いるのが便利とされている。なお、吸収度が十分に大きくない、あるいはプラズマの寸法が観測波長にくらべて充分大きくないときはそれに対する補正を行う必要がある。この場合には同一電子温度でも観測される雑音電力は減少する。

付 記

「マイクロ波干渉法によるプラズマ密度測定」に関する二三の問題点

青 井 三 郎（沖電気株式会社）

われわれの所では波長 8 mm および 6 mm 帯のマイクロ波を使用し、試作熱陰極放電管（Xe, Ar, He など、現在までは主として直流動作）に対し、前文第 5・3 図の干渉計方式によって $2 \sim 3 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$ 程度までのプラズマ密度を測定しているが、測定途上下記のような問題点があり、検討を進めている。

（１）プラズマ密度、すなわちプラズマ周波数を次第に上げてゆく場合 プラズマ周波数が使用マイクロ波の周波数に一致するかなり以前に透過波強度が減少し、測定精度が低下することが観測されるが、その原因がまだ明確でない。

（２）プラズマとマイクロ波との間の結合方式の問題 実際のプラズマは有限の大きさを持ち、かつ一般にはその形状および寸法を測定に好つごうのように自由に選択できない場合が多いので、電磁ホーン、誘電体レンズ、その他によって充分に集束されたマイクロ波ビームをプラズマに当てる必要がある。さらに測定精度を上げるためには、プラズマ容器壁およびプラズマ柱による反射、屈折、回折および散乱などの影響を考慮することが必要である。ミリ波帯で充分に集束したビームを作る技術的問題および上記の各種の副次的な影響の評価が当面の問題として重要と思われる。

なお、以上のほかに被測定用のモデルプラズマとして、高密度でしかも安定な定常プラズマが得られると好つごうであるが、実際にはこれがかかなりむずかしい。またパルス放電では測定器に対する誘導防止も問題である。

6. ま と め と 将 来 の 方 針

小 島 昌 治（東京教育大学）
理 学 部

核融合研究は一昨年（1958）の春のゼータの報告があったところが一番楽観的な頂上時であって、その後は次第に困難さが認識されてきた。そして現在ではまだどの方法が成功に導くかの見通しさははっきりしない状態である。しかし世界各国のやっているところを見ると、その細かいところは別として、同じような方法が採用されているといえる。これらの核融合をめざす装置はいくつかの形に分けられるが、いずれも大電力を用い、その制御も測定も主として電気的な方法を行っている。したがってこの方面の電気技術の開発はぜひ必要である。

ではどういふことがまず必要であるかを、さきほどの講演および討論からまとめてみると、高温プラズマ発生装置では大電流を必要とする。そのため数百 kJ のエネルギーを数マイクロ秒、もしくは数ミリ秒の間に放電させるが、このための電源、回路、特に大電流用のスイッチの開発がなくてはならない。また逆電流を防ぐためのクローバスイッチには特に低抵抗が要求さ

れる。また複雑な装置になると各種の回路を一定順序で高速度で切り換えるので、精密なシーケンス制御が必要になってくる。スイッチとしてはいままでふつうに用いられている種類のもののほかに真空スイッチの開発が期待されている。核融合を起させるためにはプラズマ中の不純物原子の存在を避けなければならないが、このためには排気速度の大きい真空ポンプ、あるいは目的によっては到達真空度の高いポンプが要求される。また真空には当然容器が問題になり、プラズマと接しても不純物を出すことの少ない材料が研究されなければならない。また、容器として金属を用いるならば、アークを発生しないような設計を行なう必要がある。さらに将来中性子ができることを考えれば、放射線損傷のことも考慮しておかなければならない。

プラズマを容器から離しておくために、磁界による閉じ込めが行われるが、この目的に使うコイルの設計もまた問題を含んでいる。磁界は数千ガウス以上を必要とし、コイルにかかる電磁力も数十トンの程度またはそれ以上になるからである。またプラズマ加熱には高周波を用いる方法も考えられるが、そのためには大

電力の高周波電源とともに、電力注入のためのインピーダンス整合の問題がある。また一方 DCX のような装置では大容量のイオン源や、大電流の粒子加速器の研究が必要である。

計測では静電探針、磁気探針などの在来からある電磁的方法も使えるが、時間的に変化の速い現象に応用しなければならないので、やはり新しい問題を含んでいる。プラズマの密度や温度は光学測定や放射線測定などによっても得られるが、マイクロ波も重要な手段である。核融合のように電子密度の高いものを測るためには、マイクロ波の波長は短くしなければならず、ミリ波あるいはサブミリ波の開発が切望されている。

以上はさきにも述べたように、高温プラズマ発生装

置建設の初期の段階の問題で、わが国で実際に遭遇し、あるいは近く遭遇すると思われる問題である。そして、これらの問題のいくつかは在来の方法を延長し発展させれば解決されるものであろう。しかし研究が進んで実際に高温プラズマを発生させることになる、プラズマ自体の行動が関係してくる。磁気的閉じ込めの場合の予期しない不安定の問題、期待より大きいエネルギー緩和の問題、理由のわからない粒子損の問題など、こうなると初めてプラズマ特有の技術的問題が発生してくることになる。それがある程度解決してから核融合への道が開かれるものと思われる。そういう日が一日も早くくることを期待したい。

求 人 ・ 求 職

本欄に掲載を希望される会員は下記申込記載事項を記入し、料金（求人・求職とも 1 件 500 円）を添えて学会事務所宛お申し出下さい。申込締切は毎月 20 日で翌月号に掲載します。

なお「求人」申込に対しては、所轄の公共職業安定所に職業安定法第 35 条但書の規定による「事前通報」を提出し「事前通報処理済書」の交付を受けて添付して下さい。

求人欄申込記載事項 1. 職種（詳細に） 2. 学歴 3. 年令 4. 勤務地 5. 勤務地外に居住する応募者に対する事項 6. 給与 7. 選考地（旅費等支給の有無） 8. 締切年月日 9. 連絡先 10. その他必要事項 11. 会社名

求職欄申込記載事項 1. 氏名（生年月日） 2. 住所 3. 学歴 4. 職歴（詳細に） 5. 希望職種（詳細に） 6. 希望勤務地 7. その他

本欄は紙面を有料で提供するだけで、掲載事項に関する照会・仲介・あっせん等は本会ではいっさい致しませんから求人、求職とも直接御交渉願います。

求 人

1. 職種：技術員（機械、電気、化学の各科若干名）（工業用家庭用電熱製品、発熱体およびマイカ絶縁物の製作加工販売） 2. 学歴：新制大学技術系卒業業者またはこれと同等程度の経験を有する人 3. 年令：25 才位～30 才位まで 4. 勤務地：東京本社 5. 勤務地外に居住する応募者は一応書類を本社宛送付すれば連絡する 6. 給与：(a) 初任給：経験年令に応じて決定するが、おおむね 16,000～25,000 円程度、(b) 通勤手当：全額支給、(c) 昇給：年 1 回、(d) 賞与：年 2 回、(e) 作業衣：夏冬 2 着ずつ貸与、(f) 就業時間：8 時～17 時 7. 選考地：東京（昭和 35 年 11 月中旬選考） 8. 締切年月日：昭和 35 年 10 月 30 日 9. 連絡先：久住電機株式会社本社総務課（東京都大田区大森 3 の 14、電話東京 761—8157～9、10. その他提出書類：自筆履歴書、卒業証明書、成績証明書、戸籍謄本、身体検査書、写真（手札形 1 枚）

久住電機株式会社（昭和 5 年 3 月設立、従業員 400 名、資本金 1,500 万円）

製品
紹介

275 kV OF ケーブル

古河電気工業株式会社

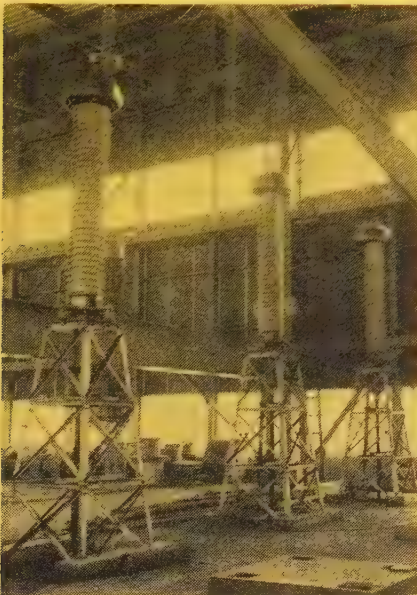
概 要

本品は、わが国最初の 275 kV OF ケーブルであって、東京電力株式会社横須賀火力発電所に布設したものであります。これは 30 万 kVA の主変圧器、屋内開閉所および屋内開閉所と 15 万 kVA の局配変圧器を結ぶケーブル亘長 964 m の線路でありまして、塩害防止のため変圧器側はエレファント終端函、開閉所側は室内のため普通型気中終端函、その他付属装置よりなっております。

特 長

OF ケーブル

1. 錫鍍金導体を使用し、公称断面積は 500 mm^2 である。
2. 導体遮蔽用に 0.1 mm, 0.06 mm のカーボン紙を使用してある。
3. 40μ の薄紙および 75μ , 125μ の絶縁紙の組合わせにより、グレーディングを施して耐電圧特性を向上してある。(絶縁厚 21 mm)
4. 真鍮帯 2 枚による補強の低油圧 OF ケーブルである。
5. 4 mm 厚のクロロブレン層の連続加硫による完全防食ケーブルである。



第 2 図 超高压開閉所内気中終端函立上り



第 1 図 275 kV OF ケーブル断面

エレファント終端函

1. 主変圧器側は間接型エレファント終端函で、変圧器の振動による鉛被亀裂を防止するために下部金具は変圧器基礎と同時に固定し、鉛被立上り部分は脱酸銅管により保護されている。
2. 局配変圧器側は直接型エレファント終端函であり、コンクリートの強固な架台に固定され、やはり脱酸銅管で保護されている。
3. コンデンサコーンを使用して、小型に設計されている。
4. 油中套管の長さは気中套管の約半分の長さである。

気中終端函

1. コンデンサコーンを使用し、円筒型ブッシングとした。
2. 絶縁距離 260 cm, 襲径 480 mm, 襲数 31 枚となっている。

特 性

導 体 抵 抗	$0.0355 \Omega/\text{km}$ (20°C)
絶 縁 抵 抗	$7.5 \times 10^4 \text{ M}\Omega/\text{km}$ (20°C)
静 電 容 量	$0.249 \mu\text{F}/\text{km}$
誘 電 正 接	0.27 % (162 kV)
(17°C)	0.30 % (280 kV)
長時間破壊	580 kV 以上
衝撃電圧破壊	1,750 kV 以上 (導体負)

製品
紹介

可 変 速 無 整 流 子 電 動 機

株式会社 明 電 舎

最近、可変速電動機の需要が増大し、特に交流電源で直接運転し、電動機自体堅牢で保守を必要としないものの出現が要望されている。

今回当社は、同期電動機と位相制御整流器を組み合わせ、無整流子形の可変速電動機を完成したので、その概要を紹介する。

この電動機は、直流機における整流の作用を位相制御整流器によって行なわせるため、直流機とまったく同じ特性を有しており、そのほか下記に示す種々の特長をもっている。

1. 速度調整がきわめて広範囲である

速度零から最高速度まで任意の速度が得られ、しかも最高速度は同期速度をはるかに越えたものである。

2. 構造が簡単、堅牢である

電動機は、同期電動機と同一構造のため、簡単、堅牢である。

3. 保守が非常に容易である

整流作用はコントロールシリコン整流器(小容量の場合)、または封じ切り水銀整流器(中、大容量の場合)で行なわせるため、ブラシ、整流子の摩耗がなく、清掃の手間が不要で、保守がきわめて容易である。

4. 運転の信頼性が高い

位相制御整流器は、当社で開発した無接触形の誘導分配器により制御するため、運転の信頼性が非常に高い。

5. 電源周波数に無関係である

50 c/s, 60 c/s いずれの地域でも運転できる。

6. 電源は三相でも单相でもよい

单相電源の場合においても三相電源の場合に比較して、なんら遜色のない特性が得られる。

7. 直巻、分巻いずれの特性でも得られる

界磁巻線の励磁方式により直巻、分巻いずれの特性でも得られる。

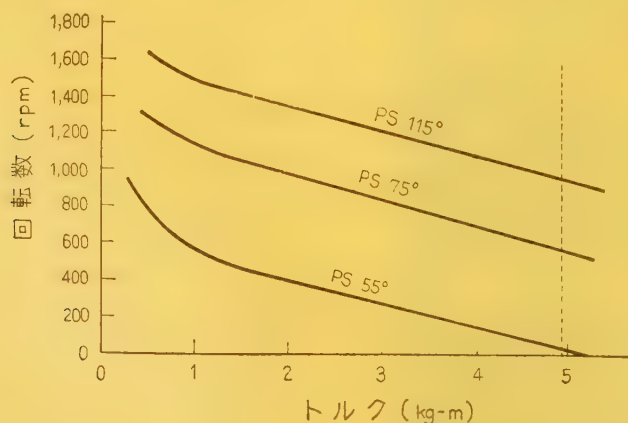
8. 可逆運転、回生制動が簡単に行なえる

主回路あるいは界磁の切替えをすることなく、誘導分配器および移相機操作によって簡単に可逆運転、回生制動が行なえる。

以上の点より変速運転を必要とする非常に広範な用途に適しており、容量が大きく、保守の簡便を希望される場合に特に有利である。

また单相でも三相のときとまったく同じ特性が得られる点交流車両への利用にも適している。

4 極三相 200 V, 7.5 kW 無整流子電動機の特性の一例を図に示した。



(註) パラメータは移相機の角度を示す。

UDC 621.315.21.027.8

高 圧 ケーブルの最近の傾向

技術綜説

35 10

正員 木 野 二 郎† 正員 加 賀 谷 誠 一††

1. ま え が き

送電線の建設は発電量の増加とともに著しく進展しており、数量のみならず送電電圧も上昇の傾向をたどっている。外国においてはすでに 1950 年にスウェーデンにおいて 380 kV 長距離架空送電線が実現し、その後はヨーロッパ諸国ならびにソ連において 400 kV 級超高压送電線が続々建設されている。わが国においては 1952 年に初めて 275 kV 新北陸幹線が建設されて以来、各所に 275 kV 超高压架空送電線が建設されてきた。将来は 400 kV 以上の超高压送電線の建設が予想されている。

一般に超高压送電は距離が長くなるほど経済的技術的理由により架空送電線が主体になるが、特殊な場所には超高压ケーブルが使用されるに至るであろう。たとえば都市内またはその周辺において架空送電線が建設できない場合、海岸の火力発電所から超高压送電線に連系する際に塩害防止上ある部分をケーブルにしたほうが安全な場合、あるいは地下水力発電所から架空送電線まで引き出す場合などがある。すでに外国においては都市周辺の連系用の例として、1936 年に降布設されたパリの 220 kV 超高压 OF ケーブルは有名であり、地下発電所からの引き出しではスウェーデンの 400 kV 級ケーブルの数例がある。

わが国では昭和 5 年に日本電力尾久送電線の一部に 60 kV 級 OF ケーブルが布設されて以来、60~70 kV 級 OF ケーブルが諸所に布設されてきたが、昭和 25 年以降の OF ケーブルの増加は特に著しく、昭和 32 年までの 8 年間で全布設量の約 90% を占めている。もちろんその後の需要の伸びは依然として著しい。さらに昭和 33 年に東京電力蔵前変電所一花畑開閉所間にこう長 11 km 2 回線のわが国初めての 140 kV 1×600 mm² OF ケーブルが布設され、昭和 35 年にはわが国初めての 275 kV 級 OF ケーブルがこう長数百メートル以内であるが、電源開発奥只見発電所、関西電力黒部第 4 発電所の両地下式発電所および横須賀火力発電所に布設されることになっている。最近のこれらのケーブルの著しい発達は、使用者側とわれわれ製

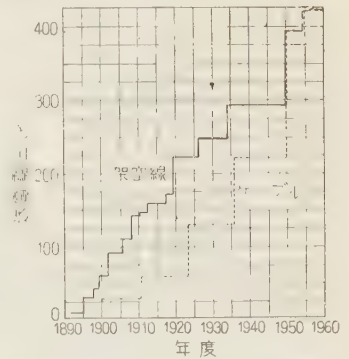
造業者との間において長年にわたりつちかわれた技術的研究および経験の結晶であるものと思う。このような傾向をみると、わが国のケーブルの布設状況も、漸次外国の一流国なみに近づいていることがわかる。

次にこれらの各高压における各種高压ケーブルの、諸外国およびわが国の（主としてわが国の）傾向について述べる。

2. ケーブルの電圧および布設量の発達経過

世界の送電電圧の変遷ならびにケーブルによる送電電圧の変遷は第

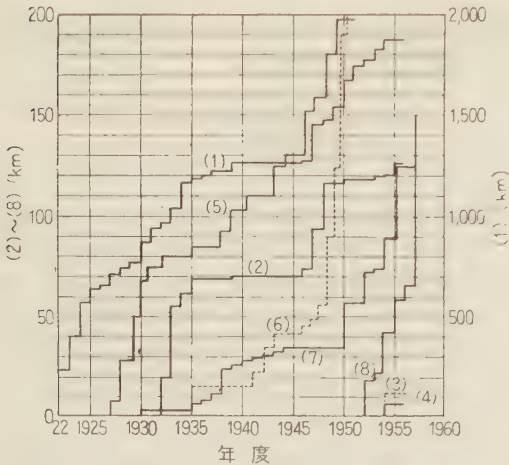
1 図のとおりである。⁽¹⁾ 現在の世界各国の最高送電電圧は第 1 表⁽²⁾ のとおりで、220 kV 級をこす超高压ケーブルになると OF ケーブルが圧倒的に優勢である。ケーブルの発達は国によって違うので、一般的に論ずることはできない。代表

第 1 図 世界における最高送電電圧の変遷⁽¹⁾第 1 表 各国の最高送電電圧⁽²⁾

国 名	架空送電電圧(kV)	地中送電電圧(kV)	最高電圧のケーブルタイプ
イギリス	275	132 275	OF, ガスフィールド, ガスコンプレッション
フランス	380	225	OF, オイロスタティックパイプ, ガスコンプレッションパイプ
西ドイツ	"	220	OF
ベルギー	220	150	"
オランダ	"	"	"
スイス	"	220	"
イタリア	"	"	"
デンマーク	150	150	Flat OF
スウェーデン	425	425	OF (500kV OF を布設したが 425kV にて使用)
ノルウェー	300	300	OF
アメリカ	345	230	OF, オイルコンプレッション
カナダ	"	300	OF
ソ連	400	400	オイロスタティックタイプ
日 本	275	154 (35年に275)	OF
ブラジル	230	230	オイロスタティックタイプ

† 藤倉電線株式会社取締役技術部長

†† 藤倉電線株式会社強電研究課長心得



パリ地区 63 kV ケーブルシステムの発達⁽⁴⁾

(1) ソリッド形ケーブル, (2) OF 形ケーブル,
(3) パイプ形ケーブル, (4) ガス入鉛被ケーブル
アメリカにおけるパイプタイプの進出⁽³⁾

(5) OF ケーブル, (6) パイプ形ケーブル

日本における 60 kV, 70 kV OF ケーブルの発達 (昭和 32 年現在)

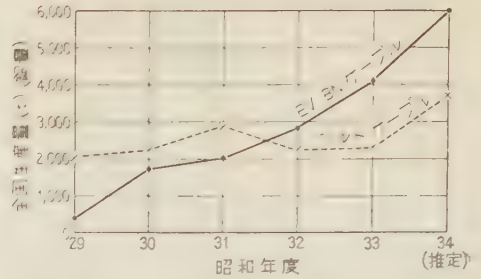
(7) 単心ケーブル回線延長 135,680 m,

(8) 3 心ケーブル回線延長 157,483 m

第 2 図

的な数例としてアメリカにおける OF ケーブルとパイプ形ケーブルの変遷,⁽³⁾ フランスのパリ地区の 63 kV ケーブルシステムの発達,⁽⁴⁾ および日本における 60 kV および 70 kV OF ケーブルの発達を第 2 図に掲げる。アメリカにおいてはパイプ形ケーブルの伸展は目覚しく OF ケーブルをしのぎつつある。一方、パリ地区においては、まだソリッド形ケーブルを多量に 60 kV 級に使用している。ソリッド形ケーブルはせいぜい 30 kV が上限とみられているが、パリ地区では導体の最高許容温度を 50°C とし、(普通のソリッド形では 65°C) 送電電力が 45 MVA 以下のものにソリッド形ケーブルを使用している。これは保守の容易性が捨てがたい利点であることによっている。日本の場合は昭和 25 年ごろを境にして OF ケーブルが急激に増加し、パイプ形ケーブルおよび扁平形 OF ケーブルも若干使用されるようになったが、OF 以外は比較にたりのほどの長さになっていない。このように国情によりケーブル発達の傾向がいくぶん違うので、それぞれの立場および布設条件を考慮して批判しなければならない。

10 kV 級以下に使用するケーブルについては、第 3 図からわかるように EV, BN ケーブルはすでにベルトケーブルをしのいでおり、近い将来において 10 kV 級以下に新設されるケーブルとしてベルトケーブルはほとんどなくなるのではないと思われる。ただし 20 kV および 30 kV の送電用として EV, BN ケー



主として 3 kV, 6 kV ケーブルで他の電圧に使用するケーブルの比率はごくわずかである。

EV: ポリエチレン絶縁ビニールシースケーブル

BN: ブチルゴム絶縁ネオプレンシースケーブル

ベルト: 油浸紙絶縁ベルト形鉛被ケーブル

第 3 図 EV, BN ケーブルとベルトケーブルの全国生産高 (近似的な数字)

ブルが全面的に採用されることは現在のところ考えられない。すなわち絶縁耐力に対する信頼性はまだ油浸紙ほどではなく、したがって絶縁厚も著しく厚く外径も大きくなり性能が劣る。ただし、油の流下がない、屈曲性がよい、シースの振動疲労がないことなどの利点があるため、特殊布設場所に使われる例は増加していくであろう。

3. 高圧ケーブルの種類と特徴

電力ケーブルのおもな進歩について Halperin 氏⁽⁵⁾ は次のように述べている。

(イ) ケーブル絶縁および保護被覆に新しい合成ゴムおよび合成樹脂が使用されるようになった。

(ロ) ケーブル被覆金属材料として合金鉛およびアルミニウムが使用されるようになった。

(ハ) 太い導体に分割形を使用し、表皮効果を減少させた。

(ニ) 油浸紙絶縁電力ケーブルに種々の新しい形が発達した。(たとえばパイプ形ケーブル)

(ホ) ジョイントおよびケーブルヘッドに新しい設計が行われ、新しい絶縁材料が使用されるようになった。

(ヘ) ケーブルの寿命を延ばし、コストを低減するためにダクト、マンホール、パイプ、空中支持方法などの改良がなされた。

(ト) 連続および緊急負荷時の許容温度をさらに高く設定して利用率を増加させた。

ところで現在世界各国で使われている高圧ケーブルは相当な種類にのぼっている。導体、絶縁体、気密被覆、防食、絶縁体加圧方法、布設方法の相違を考慮に入れるとその種類は著しい。ケーブルの分類方法は必ずしも一定しておらず、人によって変わる場合が多い

第 2 表 20~400 kV 級油浸紙絶縁電力ケーブル

		圧力 (kg/cm ²)	使用電圧 (kV)
—ソリッドケーブル (SL 形, H 形).....		—	10~30*
—圧力形ケーブル— (Pressure cable)	—低圧ガス入ケーブル, 別名低ガス圧ケーブル (Low pressure gas-filled cable).....	0.7~1.2	10~30
	—中圧ガス入ケーブル (Medium pressure gas-filled cable).....	1.7~2.8	40~69
	—高圧ガス入ケーブル (High pressure gas-filled cable).....	—	—
	—Pre-impregnated cable.....	12~16	60~132**
	—Mass-impregnated cable.....	12~16	60~132**
	—パイプ形ケーブル (Pipe type cable).....	—	—
	—内 圧 形 (Internal pressure) (Direct pressure type).....	—	—
	—ガス入形 (Gas-filled type).....	12~18	69~138**
	—オイロスタティック形 (Oilostatic type).....	12~18	60~400**
	—外 圧 形 (External pressure) (Compression type).....	—	—
	—ガスコンプレッション形 (Gas-compression type).....	12~18	60~220**
	—オイルコンプレッション形 (Oil-compression type).....	12~18	60~220
—外圧自蔵形ケーブル (Self-contained type compression cable).....		12~18	60~132
—油 浸 紙 絶 縁 油 入 ケーブル (Oil filled—OF cab.).....		—	—
—低油.....		0.5~3	60~400**
—中油.....		2~7	60~400
—高油.....		10~25	220~500
—扁平形油入ケーブル (Flat type OF cable).....		3~6	30~150

(注) * フランスでは 60 kV まで使用している。** 20 kV までその場合に応じて使用されている。

が、第 2 表に現在主として使用されている 20 kV 級以上の高压ケーブル形式の分類例を示す。ケーブルの種類は送電電圧によって、おのずから分れてくるが、最近では 20~30 kV 級に圧力形ケーブル、OF ケーブルが使われる例が出てきたのは興味を引く。^{(6)~(9)}これは主としてイギリスにみられる例で、この理由は絶縁厚が薄くでき、⁽⁶⁾したがって外径が小さくできること、および導体の最高許容温度がソリッドケーブルの 50°C (ダクト布設) ないし 65°C (直埋および空中布設) に対して OF および圧力形ケーブルでは 85°C にとれる (イギリス以外は 80°C) ので、送電容量も増加でき、布設場所によっては OF および圧力形ケーブルは経済的になりうる。日本でも 20 kV 級に架空パイプ形ケーブルが使用された例がある。⁽⁹⁾

次に各種高压ケーブルの特徴について述べる。

(3・1) ソリッドケーブル 油浸紙絶縁体に圧力が加えられないので、負荷サイクルによる油の膨脹収縮がくり返されるにしたがい非弾性的な鉛被は永久ひずみを生じ、絶縁体内に空げきを生ずようになる。使用電圧でこの空げきは電離を生じやすいので、特別な場合を除き一般に 30 kV 級以下に使用されている。

(3・2) 低圧ガス入ケーブル (低ガス圧ケーブル)

ソリッドケーブルと同様に乾燥含浸をするが含浸終了後油抜きを若干行い窒素ガスを封入する。布設後は特別に設けられたガス通路を通して全線路に窒素ガス圧がゆき渡るようにし、油浸紙絶縁層内を約 1 kg/cm² に保っておく。このケーブルの特徴は、(イ) 鉛被ならびに接続部の気密を監視できる、(ロ) 空げきの電離を押えることができる、(ハ) 導体温度を約 10°C 高

くできる、(ニ) 油の移動が少ないので、高低差に布設できる、などの長所がある。

このケーブルはアメリカ Gen. Elect. 社の Shanklin 氏の発明によるもので、日本国有鉄道では全面的に採用されている。

(3・3) 中圧ガス入ケーブル 低圧ガス入ケーブルよりも約 2.5 倍程度まで窒素ガス圧をあげて、使用範囲を 40~70 kV 級に高めたものである。低油圧 OF ケーブル級の簡単な鉛被の補強で充分で、付属設備がごく簡単にできる特徴があり、アメリカで使われている。

(3・4) 高圧ガス入ケーブル 中圧ガス入ケーブルよりもさらにガス圧をあげて 14 kg/cm² にして 132 kV あるいは 138 kV 級まで使用できるようにしたものである。製造方法としては、紙巻後に乾燥含浸してから油を若干抜いて窒素ガスを充てんした、いわゆる Mass-impregnated type と絶縁混和物をあらかじめ絶縁紙に含浸し、湿度が極度に低い RH 3~4% の条件で導体に巻いて最後に窒素ガスを充てんした、いわゆる Pre-impregnated type がある。後者の形は絶縁油の移動はなく、1 条の製造長を長くできる特徴があり、たとえば長距離海底ケーブルとしてすぐれた構造である。一つの例として 1956 年に完成した British Columbia と Vancouver Island 間の 138 kV 海底ケーブル (イギリス BICC 社製) は総長 27,700 m+6,400 m (途中に島あり) で、1 条の製造長は 4,800 m であった。

ガス圧が高いので、鉛被の補強は相当に重要で補強テープ層の等価抗張力は使用張力の 4~5 倍程度必要であり、長短両ピッチを適当に組み合わせて巻かなければならない。ガス圧を高めることにより、絶縁層内

の断面積は電圧が高くなるほど高くなるので、その点問題ないがインピーダンス特性を向上させることは必要で、100 kV 以上の送電線路に使用することは可能とした、と考えられる。

(3・5) パイプ形高圧ガス入ケーブル 上述の高圧ケーブルでは、絶縁材料を絶えず流し回りに、鋼管の中に引き入れたものからこのケーブルで、一般に Mass-impregnated type が採用される。

パイプ形ケーブルは重量が軽いため、マンホールあるいはハンドホール間隔を長くできること、外傷に対して強いことなどのすぐれた特徴がある。パイプ形ケーブルのうちこの内圧形ケーブルの特徴は導体断面積が大きいためまで使用できることで、導体の表皮効果、電磁効果による交流損失の増大を抑制するために 6.4 mm 以上になると導体分割形が適当で、したがって内圧形が一般に採用される。高圧用に設置する場合もこのタイプが望ましい。内圧形ケーブルには次に述べる Oil-filled type と本項の Gas-filled type があることはすでに述べたが、後者は当分安価で 138 kV 級までは望ましいケーブルになる。ただしこのケーブルの最外層には気密シースがないので鋼管内に引き入れるまでは気密板をかぶせたり、または気密ドラムに巻いたりする必要がある。もちろん鋼管内の乾燥、清浄には特別の注意を払う必要がある。第4図が高圧ガス入ケーブルの構造図である。

(3・6)

オイロスタティックケーブル

このケーブルは上述のパイプ形高圧ガス入ケーブルのガスの代わりに圧力媒体として絶縁油を入れたものである。このケーブルと同様に絶縁体は絶えず絶縁油で満たされ、圧力が加えられるので 400 kV 級まで安定に使用できる。ただしパイプ内の絶縁油は温度変化に対して絶えず調整する必要があるので、終端の調整装置は相当大がかりなものになる。しかしアメリカでは第3表⁽¹⁾からわかるとおり、この形は圧迫的に多く全体の約 2/3 を占めている。



第4図 パイプ形高圧ガス入ケーブル

第3表 アメリカで製造した 66 kV 以上のパイプ形ケーブル⁽¹⁰⁾の回線延長 (miles) (1953 年 12 月 31 日まで布設終了または布設中のもの)

系統電圧 (kV)	内 圧 形		外 圧 形		計
	(Direct pressure types)		(Compression types)		
	Oil medium	Gas medium	Oil medium	Gas medium	
66~110	1,093	204	73	173	1,463
110~138	—	242	—	56	298
138~145	1,011	134	199	95	1,439
145~154	—	—	13	—	13
154~161	934	—	—	—	934
計	2,038	376	285	224	2,923

① Direct pressure type は Oil medium のケーブルである。

(3・7) パイプ形ガスコンプレッションケーブル

本ケーブルはパイプ形ガス入ケーブルと次の2点において相違している。(イ) 絶縁層の外部に気密隔壁がありパイプ内のガスと絶縁されて、(ロ) 同心形状が成形（一般に、円形）されており、外部から内部への圧力伝達が容易になっている。

気密隔壁には、普通ポリエチレンシースが用いられるが、ドイツでは銅板を使用している。銅板を使用すると接続方法が容易な長所があるが、銅板の硬さがあること、ケーブル重量が重くパイプ形ケーブルの有利な特徴の一つである重量軽減が得られがたい。そのため、アメリカおよびフランスではポリエチレンを使用し、日本の多くのメーカーはこの方法にならっている。この気密シースがあることは述べた特徴であって、気密板は不要である。鋼管へ引き入れに際してもおなじような気密装置で、比較的簡単に引き入れることができる。この形に導体を分割するよう



第5図 パイプ形ガスコンプレッションケーブル

のには一般に使用できない。(ただし特別な構造として、おむすび形が考えられ、試作結果実用に耐えうることもわかって、いる。第5図は普通に使用されている構造である。本ケーブルは日本において将来相当な比率で増加していくであろう。

(3・8) オイルコンプレッションケーブル 前項のケーブルのガスの代わりにオイルを充てんした形である。第3表をみるとアメリカの全パイプ形ケーブルのうち約 6% 強を占めているにすぎない。

(3・9) 外圧自蔵形ケーブル ガスコンプレッショ

ンケーブルのパイプの代わりに補強鉛被を使い、絶縁上の気密隔壁に鉛被を使ったものである。これはイギリス Enfield 社で製作し相当量使用されているが、最近では OF ケーブル、ガス入ケーブルのほうが好まれ、Enfield 社の Sutton 氏はパイプ形のほうが経済的になったことを述べている。⁽¹¹⁾

(3・10) 油入ケーブル OF ケーブルはソリッドケーブルのボイド放電を抑えるためにもっとも早く発明された。すなわち 1917 年にイタリアの Emanuelli 氏が基礎設計を完了し、1923 年に初めて相当量の商用布設がアメリカで行われた。単心ケーブルの場合は心線内に、3 心ケーブルの場合は介在間に開放形の油通路を設け油通路のどの部分においても絶縁層内に絶えず油圧が加えられるようになっている。ケーブルルート両端または途中の適当な位置に重力またはガス圧力を利用した気密油そうをおいて、温度変化による油の膨脹収縮を充分補償し、油を外気にふれることなく常時ある値以上の油圧が全ケーブルに加えられるようになっている。そのために油の粘度をできるだけ低くし、変圧器油とはほぼ同程度にしている。

無電離ケーブルのうち、このケーブルがもっとも一般的で、かつ信頼がおける。ところで絶縁紙を薄くしてテープを合わせの油けきをできるだけ薄いフィルム状に作り、かつ絶縁紙の単位面積あたりの紙の枚数を増して絶縁層を造るから、中絶縁層に油がよび交流電圧に耐えられ、さらに油圧を上げると寿命も延びるので、超高圧ケーブルにこの方法を採用すると、絶縁層厚をそれほど厚くしないでもよい。この技術の発明者はフランスの Les Câbles de Lyon 社の Domenach 氏で 1946 年に薄紙絶縁高油圧の 380 kV OF ケーブルの試作に成功し、1950 年以降スエーデンの各発電所に使用されている。(第 7 表参照) この薄紙による絶縁層の減少効果の一例として、1936 年バリの 220 kV の絶縁紙の構成は 0.08~0.15 mm で総厚が 24 mm であったものが、1947 年には 0.02~0.10 mm の構成で総厚 18 mm になった。⁽¹²⁾ この技術を 140 kV および 60 kV 級の低い電圧まで応用すると、絶縁厚を相当減少できるようになる。これは将来の発展に対する一つの指針になるであろう。

わが国において昭和 35 年に奥只見発電所に布設される 287.5 kV OF ケーブルは 0.025~0.125 mm のグレーディングになっている。このケーブルは高低差

が約 100 m もある関係上、油圧は最上部で 3 kg/cm² 最下部で約 12 kg/cm² になっている。したがって電気的には中油圧で機械的には高油圧 OF ケーブルになる。第 6 図に高油圧 OF ケーブルの構造例を示した。

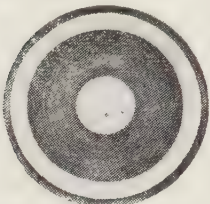
(3・11) 扁平形油入ケーブル 扁平形 OF ケーブルは、1940 年にデンマークの Nordiske Kabel Co. の Møllerhøj 氏が発明したもので、主としてデンマークで使われ、⁽¹³⁾ 日本にも技術導入され、最近数回線使用されている。このケーブルは 3 心を横にならべて被鉛し、その腹の上に特殊な波形の金属テープを縦にそって補強し、内部の油の膨脹収縮を腹の扁平な部分で呼吸するようにしたものである。そのため油の容積は 6~8% 程度変化することができるので、使用温度範囲は充分にカバーできる。したがって OF ケーブルのような油そうは不要である。このケーブルを使用する範囲は、技術的ならびに経済的に(デンマークは普通の OF ケーブルを製造しないので全面的) 150 mm² 以下の導体寸法を持ち 1 km 以下の長さの 60 kV 級引込線に相当であろう。このケーブルでもっとも問題になるのは鉛被の疲労であるが、最大ひずみは 0.25% であって鉛被表面が酸素にふれないように綿密に防食すれば充分寿命は長く、すず-カドミウム合金 (0.2% Sn+0.075 Cd 他 Pd) を使用すれば問題にならないことが報告されている。⁽¹⁴⁾ 第 7 図が構造例である。

第 7 図 扁平形 OF ケーブル

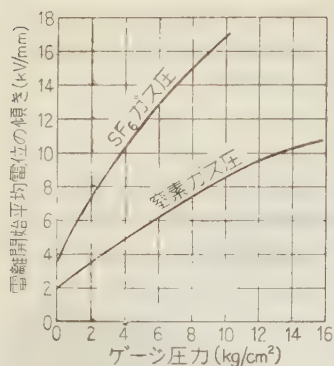
4. 絶縁構造の発達

絶縁体の内部に空げきがあり、その空げきにガスを封入してガス圧を高めたガス入ケーブルは、使用電圧で空げきにコロナが発生しないようになっている。第 8 図はガス圧と電離開始電位の傾きとの関係を示した例で、この特性が明確に究明されたので、各種ガス入ケーブルが進歩したものと考えられる。ガス体としては窒素ガスが使用されるが、参考までに絶縁耐力が高く、油浸紙に対して安定な SF₆ ガスを封入した場合の特性も示した。このようなガスを封入したケーブルも将来漸次問題とされるに至るであろう。⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾

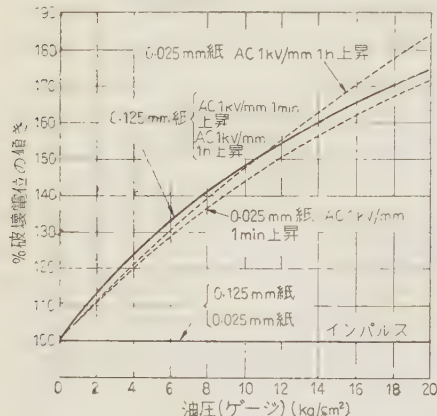
空げきのないように圧力を加えた油浸紙ケーブルにおいても、油圧により交流長時間耐電圧は上昇する。たとえば OF ケーブルの場合に第 9 図に示すように油圧とともに破壊電圧が上昇する。しかし衝撃破壊電圧



第 6 図 高油圧 OF ケーブル

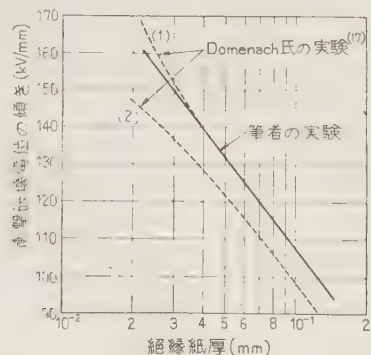


第 8 図 ガス入ケーブルのガス圧と電離開始電圧



第 9 図 OF ケーブルの油圧と % 破壊電位の傾き

いほど薄い紙を使用し、外側にゆくほど順次厚い紙を使用するとき、薄紙をわずかに使用することによりケーブルの破壊電圧を著しく向上させ、総絶縁厚も薄くできる。第 11 図がこのグレーディングを説明した略図である。この絶縁設計が採用されることにより超高压ケーブルは著しく進歩した。



第 10 図 絶縁紙厚と OF 油浸紙（ケーブルモデル）の衝撃破壊電位の傾き

は油圧により変わらない。衝撃破壊電圧を上昇させようとする場合には、次に説明するように薄紙を使用する必要がある。第 10 図に示すように薄紙の衝撃破壊電位の傾きは著しく高いので、⁽¹⁷⁾ 導体に近

現在ケーブル導体表面と絶縁表面は原則として半導体紙でしゃへいされている。半導体紙しゃへの効果は、(イ) より線導体のより線表面



第 11 図 ケーブル絶縁層縦断面 (グレーディング略図)

(ロ)より線間げきおよび絶縁表面の油げきをしゃへいし、絶縁紙と両電極の密着をよくする、(ハ) 劣化生成物を吸着し、劣化速度を遅くする、などにある。より線導体をしゃへいすることにより、普通に使されるケーブルでは約 25 % もストレスは減少する。⁽¹⁸⁾

第 4 表 カーボン紙による絶縁油層劣化防止効果 (密閉加熱)

加熱時間 (h)	特性	浸漬物		カーボン紙		絶縁紙	
		銅微媒	油のみ	なし	あり	なし	あり
20	$\tan \delta$ (%)		0.30 0.50	0.15	0.40	0.26	0.84
	ρ ($\Omega \text{cm} \times 10^{11}$)		1.8 1.1	3.4	2.7	1.6	1.2

第 4 表は半導体紙が劣化防止に役立つことを示している。しかしより線をしゃへいしたケーブルの実際の破壊最大電位の傾きの上昇は、交流長時間破壊で 20 ~ 30 %、インパルス破壊で約 5 % で、効果は特に交流長時間に対して大きい、(イ) ~ (ハ) のそれぞれがどのように影響しているかは残された問題であろう。

以上種々絶縁構造は発達し、製造方法も進歩して、特性のよい高压ケーブルが多数使用され、超高压ケーブルも出現するに至った。

5. 接続箱および終端箱の発達

ケーブル絶縁体の発達とともに接続箱および終端箱の発達も著しい。次に簡単に述べる。

(5.1) 気中終端箱 気中終端箱の歴史的な発展経過について Domenach 氏が詳細に述べている。すなわち古い形式はがい管は截頭円すい形で電界は特別に調整されていない。これに対して新しい形はコンデンサ形になり、細い直円筒形のがい管が使用されるようになった。同じ 220 kV で新・旧の形を比較すると第 5 表のようになる。⁽¹⁹⁾ わが国でも 275 kV 用気中終端箱はコンデンサ形になっている。次第に 140 kV および 60 kV 級まで細い直円筒形のがい管が使用され、コンデンサ形になるであろう。第 12 図は筆者が電界模写装置でコンデンサ形終端箱の電位分布を求めた例である。

第 5 表 220 kV 級 1936 年形とコンデンサ形の寸法比較⁽¹⁹⁾

種 類	がい管径 (mm)	内 径 (mm)		油 量 (l)
		底 部	頂 部	
1936 年非調整形	1,990	620	210	約 300
1947 年コンデンサ形	1,880	320	140	約 100



第 12 図 コンデンサ形終端箱電位分布測定例

(5・2) エレファント形終端箱 ケーブルの終端を空中にさらさずに変圧器に直結させる方式は、いわゆるエレファント形ケーブル終端箱と呼ばれている。この方式は大出力の地下式水力発電所の発達、大火力発電所の増加、塩害防止、さらに都心の変電所の増加などのため、世界的に採用されるようになった。ヨーロッパにおいてはすでにイタリアの Pirelli 社が 1940 年以後第 6 表のように多数の布設実績を有し、⁽²⁰⁾その後各社が布設している。1954 年の CIGRE においては特に重要な問題として取り上げられるに至った。スエーデンに先駆けて 400 kV 級送電を実現したが、地下発電所が多く 400 kV 級のエレファント形終端箱が第 7 表のように多く採用されている。わが国においても最近 1, 2 年来各段階の電圧にこの形が採用

第 6 表 イタリアにおけるエレファント形ケーブル終端箱の実績⁽²⁰⁾ (1940~1953 年)

ケーブルの種類	電 圧 (kV)	エレファント形終端箱の数
単心 OF ケーブル	200~230	45
"	150	29
単心ガス圧ケーブル	230	3
単心ソリッドケーブル	60	16
"	20	11
3 心ソリッドケーブル	"	6
単心	15	4
3 心	"	23

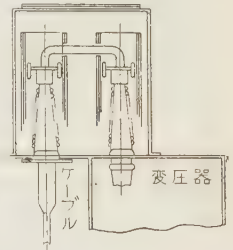
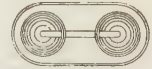
第 7 表 スエーデンの超高压ケーブルとエレファント形終端箱採用状況

布設年	場 所 (スエーデン)	電圧 (kV)	ケーブル		エレファント形採用の有無	ケーブル製造社
			導体 (mm ²)	こう長 (m)		
1950	Härspranget	380	600	80	無	ケーブル ド リオン*
1951	"	"	500	100	"	リリー ホルメンズ**
1954	Stenkullen	425	"	50	採用	ケーブル ド リオン
1955	Lasele	"	1,090	90	"	"
"	Stenkullen	"	900	50	"	リリー ホルメンズ
"	Söderasen	"	"	200	"	"
1957	Stornorfor	500	405	"	"	ケーブル ド リオン

注: * フランス, ** スエーデン

されるようになってきたが、昭和 35 年に奥只見地下発電所および横須賀火力発電所に布設される 275 kV ケーブルにこの形が使用されるのは特筆すべきであろう。この形の利点として、(イ) 高压部分が完全にしゃへいされているため危険がなく、占有空間が非常に小さい、(ロ) 汚損、塩害をうける地域に有効である、(ハ) がい管は油中にあるため小形にできる、などがあげられる。ただし欠点として変圧器とケーブルの間にしゃ断器、避雷器が取り付けられず、操作容易な断路器の取り付けも容易でないこと、変圧器自体に大きなケースを取り付けなければならないこと、変圧器とケーブルを別個に点検しにくいことなどがある。

ところで変圧器とケーブルを直結するにあたり一つの大きな問題は、変圧器の機械的振動による鉛被の疲労であろう。しかし最近の試験により変圧器の振動は案外少なく、ケーブルの防振もそれほどむずかしくないことがわかった。その対策として、(イ) ケーブルに伝わる振動を減少させる方法、(ロ) 鉛被を耐振性の金属管で補強する方法などがある。⁽²¹⁾第 13 図はエレファント形終端箱の試験用設計例である。



第 13 図 エレファント形終端箱

(5・3) その他 わが国では OF ケーブルの普通接続箱、油止接続箱は 140 kV 級まですでに多数使用されており、ほぼ完成されたものとみてよい。同種ケーブル接続のみならず OF ケーブルとパイプ形ケーブルの接続⁽²²⁾⁽²³⁾もすでに完成している。その他わが国でも Y 分岐断路器が 60 kV 級まで完成し、実用段階にはいった。⁽²⁴⁾

6. 高压ケーブルの諸問題

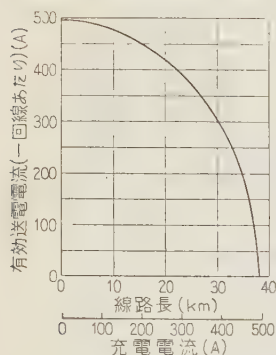
高压ケーブルの残された問題は、まだ数多く存在する。たとえば、(イ) 薄紙の使用範囲を比較的低い電圧まで拡大し、絶縁厚を薄くして経済的な設計をする、(ロ) 強制冷却方式の採用により導体断面積を減少させる、(ハ) 防食層をできるだけ低廉かつ確実なものにする、(ニ) OF、パイプ形、扁平 OF などの各形式のケーブルの使用範囲を合理的に設定し、技術的ならびに経済的なケーブル線路の建設ができるようにする、(ホ) 単位長あたりの静電容量を減少させ長距離の超高压送電ができるようにする、(ヘ) 誘電体力率を減少させ、超高压ケーブルの送電容量を増大させる。

その他まだ多くの問題があるが、次に超高压ケーブルの充電電流による送電容量制限の問題と誘電体損による送電容量減少の問題について簡単に述べる。

(6・1) 充電電流による送電容量の制限 60~140 kV 級のように比較的電圧が低く、かつ線路長が 10 km 以下である場合は、充電電流が熱定格にくらべて小さく問題はないが、系統電圧が高くなり、線路長が大きくなると、充電電流による制限が問題になってくる。⁽²⁵⁾ たとえば 275 kV OF ケーブルを例にとり、

第 8 表 充電電流による限界距離 (単位: km)

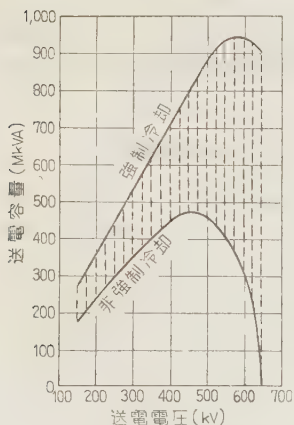
導体寸法 (mm ²)	500	600	700	800
1	48.8	51.2	53.0	52.5
2	36.6	38.3	39.2	38.3
3	29.9	31.4	31.7	30.4



第 14 図 275 kV 1×600 mm² OF (2 回線の場合) の線路長と有効送電電流 (概算例)

充電電流と熱定格電流とが等しくなる線路長を概算すると、第 8 表のようになり、この限界距離以上では受電端への電力供給は不可能になる。またこの限界距離以内で有効送電量と線路長の関係を示したのが第 14 図である。したがって大規模な超高压ケーブル線路が実現する際には、充電電流を減少させるた

めに誘電率の小さい絶縁材料を開発して超高压ケーブルに使用する必要に



第 15 図 強制冷却による送電容量の増加⁽³⁰⁾

昇するとともに誘電体損が増加し、送電容量は減少す

る。一つの計算例で $\tan \delta = 0.4\%$ では約 650 kV で送電不可能になる。⁽³⁰⁾ この対策として二つの方法が考えられるが、その一つは強制冷却法で第 15 図のように送電容量は増大する。⁽³⁰⁾ 他の方は絶縁材料を開発することで、同じ油浸紙を使用するにしてもできるだけ低密度紙を使用する方法もあり、⁽³¹⁾ さらにポリエチレン系材料を使用する方法も研究⁽²⁹⁾ されている。

7. む す び

以上高圧ケーブルの発達、種類と特徴、絶縁構造および付属品の発達、さらに諸問題点について述べた。

絶縁材料として現在もっとも多く使用されているのは油浸紙であるが、他の絶縁材料の発達いかんではちる分野の絶縁は相当量これにおきかえられる可能性も出てくるであろう。また直流送電が発達すれば、ケーブル構造は簡単になり、充電電流、誘電体損の問題もなくなる。以上簡単な報告になったが、今後のケーブルの発達の一助にもなれば幸である。

文 献

- (1) C.C. Barnes: Electrical Times (1958-1-2)
- (2) 小林・泰: 電力「最近の高電圧ケーブル技術号」43, No. 13 (昭 34-11)
- (3) L.I. Komives & H. Halperin: CIGRE No. 214 (1948)
- (4) R.A. Tellier: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs No. 33, 1027 (1957)
- (5) H. Halperin: Elect. Engrs 78, 604 (1959)
- (6) C.C. Barnes: Electrical Times (1958-1-2)
- (7) P.H. Hollingsworth: Electrical Times (1957-11-14)
- (8) K.W. Pearce: Electrical Times (1958-1-2); (1958-2-6)
- (9) 武藤・加賀谷: 昭 34 電気学会東京支部大会 244
- (10) G.N. Everest & P.V. White: AIEE Summer Meeting (1954-6-21~25)
- (11) C.T.W. Sutton: Electrical Times (1958-4-3)
- (12) L. Domenach: CIGRE No. 214 (1948)
- (13) J.S. Møllerhøj: Proc. Inst. Elect. Engrs 103, PtA, 153 (1956)
- (14) H. Kj AER: CIGRE No. 208 (1956)
- (15) G. Allord, A. Devaux et. J. Diquelou: Bull. Soc. Franc. Elect. 7, 603 (1957)
- (16) 福永・加賀谷・鹿間: 藤倉技報 No. 5, (昭 29)
- (17) L. Domenach: CIGRE No. 214 (1948)
- (18) 加賀谷: 昭 34 電気学会東京支部大会 240
- (19) L. Domenach: CIGRE No. 211 (1952)
- (20) P. Gazzana-Priarroggia: CIGRE No. 205 (1954)
- (21) 加賀谷・鹿間: 昭 34 電気学会東京支部大会 258
- (22) R.H. Bolling: Elect. Wed 148, 61 (1957-11-11)
- (23) 田畑・中野・武井: 昭 34 電気学会東京支部大会 249
- (24) 加賀谷・秋山: 昭 35 進大 797
- (25) C.S. Schfreen & W.C. Marble: A.I.E.E. No. (1956-10)
- (26) J.C. de Vos & J. Vermeer: CIGRE No. 207 (1958)
- (27) 藤沢・小島: OHM 47, 37 (昭 35-2)
- (28) J.C. de Voogd & J. Vermeer: CIGRE No. 226 (1960)
- (29) K. Wyatt: Elect. Wid. 153, 67 (1960-1-25)
- (30) L. Domenach: Revue Générale de L' Electricité, (1959-3)
- (31) P. Gazzana-Priarroggia, A. Morello & G. Palandri: CIGRE No. 202 (1958)

(6・2) 誘電体損による送電容量の減少 送電電圧が上

UDC 621.315.62.015.5: 620.193.27

送電線の塩じん害対策

技術綜説

35-11

正員 竹村 東 虎†

1. ま え が き

最近海岸地域に火力発電所が急速に建設されるにしたがって塩じん害対策に関する関心が急激に深まり、送電技術に関係するものだけでなく、変電所関係者はもちろん機器メーカーの設計者にいたるまで、口を開けば漏れ距離 (mm/kV)、塩分付着密度、耐塩形、重汚損地域用などの言葉がきかれ、外部絶縁設計においては必ず考慮される条件に加えられるようになった。これが数年前までは一部にいかにも塩害対策の必要性が説かれても、送電関係者においてすら、いわく異常電圧フラッシュオーバー説、いわく電圧分布の不等による過絶縁対策不可能説などが強力で、塩じん害による事故は避けられないとする考え方が強力であったことを思いあわせると、実に今昔の感に耐えられないものがある。そこでいま一度、現在までの塩じん害対策の発達過程をふり返るとともに、今後の問題点を明らかにして、新しくこの方面に興味を持たれる会員諸賢の参考に供したい。

2. 塩じん害対策研究の経緯

戦前における塩じん害対策の研究として、古く昭和 11 年の台湾電力における損傷がいし 800 個におよぶ 140 kV 系の大塩害事故を基とした後藤氏の研究、昭和 13 年大阪地方で発生した被害がいし 800 個以上におよぶ 70 kV 系の煙霧害事故を契機とする七里、松平氏の研究ならびに中島氏の研究結果などがある。後藤氏はもっぱら季節風による塩分付着の定態調査に重点を置いた研究を行い、この方面の実態を知る上の貴重なデータを提供された。また、松平氏は大気中の汚れたほこりの基礎的な性質について解明し、この方面の定量化に対する先べんをつけられた。また七里氏の研究は前記事故の解明を志し、今日の霧中試験の先べんをつけた。中島氏の研究は汚損フラッシュオーバー現象の解明に主力を置かれ、衝撃電圧にはじまり、交流弧絡現象の解明にいたるまで広範囲にわたり、当時すでに汚損がいしの試験に大容量電源を必要とすることの重要性を唱え、また 2 倍程度がいしを増結すれば、塩害事故を防止できるとする最悪の汚損条件に対処する結

論を出されていた。しかし当時は汚損の実際と、実験室におけるフラッシュオーバー現象との結びつきを充分考慮するまでにいたらなかったのと、戦争による資材不足の面も出現し、塩害対策として實際面に実を結ぶまでにいたらなかった。昭和 28 年 9 月関東一円に台風による大塩害事故、引き続き昭和 29 年 9 月関西地域の 2 回にわたる台風塩害事故など大規模の停電事故が発生するにおよび、再び塩じん害対策樹立の必要性が各方面より要請されるようになった。そこで昭和 30 年 1 月電気協同研究会に塩塵害対策委員会が設置されることとなり、各方面の知識を結集し 4 年にわたる研究の結果、實際面と実験室との間の結びつきにもある程度意見の一致が得られ、保守面ともあわせて一応の推奨案が確立されるにいたった。同時にこれらの経験を基としてわが国独自の各種汚損原因別の人工汚損試験法の推奨案も確立された。一方、最近電力増強に伴ない海岸地域に火力発電所の建設が活発となるにおよび、その屋外変電所の塩害対策もまた重要となり、さらにこの方面の研究を活発とした。特に海岸地域の屋外変電所の塩害対策として、活線注水洗浄はすでに常識化した感がある。また最近ではアメリカのシリコーングリースの実績に刺激され、この方面の研究が盛んに行われている。

一方諸外国におけるこの方面の研究を見ると、日本同様海国イギリスでは冬のロンドンの霧ともあわせ古くよりこの方面の研究に関心が持たれた。Forrest 氏の自然気象下の曝露試験、Johon 氏の風洞を使用した研究、Thompson 氏の汚損のメカニズムに関する調査結果などがある。これらを総合すると、イギリスではがいしの優劣を比較するのに人工汚損試験は適当でないとして、長期にわたり自然条件下に使用電圧を印加して曝露試験を行い、その際のサージカウンタの動作状況より優劣を論ずる方法を採用している。そして 100 mA をこすサージの発生をフラッシュオーバーの危険を見る目安とするとともに、汚損対策としてもっぱら耐傷形状の懸垂がいしを採用する傾向が強い。またドイツでは煙じんと被露によるフラッシュオーバーをおもなる対象として、古く 1939 年にすでに VDE 0448/V 40 として汚損霧中試験法を規定していた。その後も研究の重点をすべて人工汚損試験に主力を置き研究

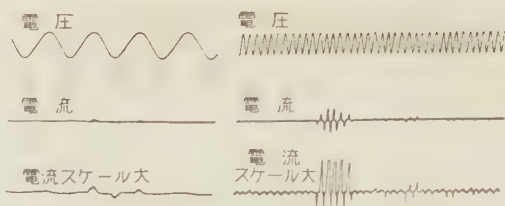
† 電気試験所

が進められている。そしてこれら研究結果を総合して VDE 0448/59 として、新しい人工汚損試験の基準が確立された。しかしこの試験法も最終結論を導くまでにいたらなかったと見えて、Cron と Reurey 氏の主張する二つの方法がそのまま 2 本立てとして織り込まれている。

アメリカでは 1948 年集中して種々ながいしの汚損問題に対する報告が出されている。しかし試験の定量化についてはあまり見るべきものはない。ただ活線注水洗浄を送電線に実施した Hill 氏の研究はこの方面に有益な資料を提供した。また最近シリコンコンパウンド処理に関する大規模の実験経験は各国より多大の関心がよせられている。

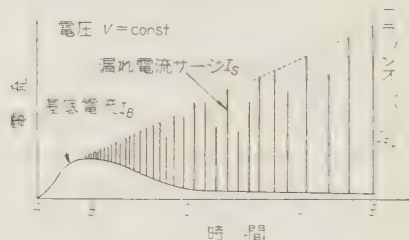
3. 汚損フラッシュオーバー現象のあらまし

大気中に曝露されているがいしは、塩、煙じんなどにより汚損される。これらの汚損物は乾燥状態では絶縁物の性質を持つので、がいしのフラッシュオーバー電圧は清浄のものとはほとんど変わらないから、なんら問題はない。しかし汚損したがいしが濃霧、高湿度の小雨などに遭遇すると、その表面がぬれ、この水膜中に塩など汚損物中の電解質が溶解し、表面抵抗を著しく低下する。また一方水に不溶性のはこりは含水性が著しいため表面の付着水分を増加し、同様に表面抵抗を低下させる働きがある。これら両者が相待って、がいしの表面抵抗はたとえば標準懸垂がいしでは汚損度により $1\text{ M}\Omega/\text{個}$ 以下、ときには $0.1\text{ M}\Omega/\text{個}$ 以下のものも現われる。しかし使用状態のように電圧が印加されていると、このように抵抗が低下すると大きな漏れ電流が流れるから、その I^2R により乾燥効果をもたらす。この乾燥効果はその表面抵抗の不均衡、漏れ通路の形状などにより一層表面の抵抗分布を不均等に導くような方向に助長し、時間の経過とともにやがて乾燥帯と呼んでいる電流方向に直角なベルト状の乾燥部分と、湿潤帯と呼ぶ湿潤部とに区分されるようになる。この乾燥帯の抵抗は相当高いので、(約 $10\text{ M}\Omega/\text{個}$ 以上) 電圧の大部分はこの部分で負担され、しかも電流は少なくかつ安定している。(第 1, 2 図参照) したがってこのときの乾燥効果は比較的小さい。このような状態で湿分の補給が続くと、乾燥帯は順次その幅をせばめられ、ついにその部分がフラッシュオーバーし、乾燥帯は局部火花をつながって、湿潤帯の範囲に広がる大きな漏れ電流を伴う。したがって乾燥効果も大であるから順次抵抗が大きくなり、電流は順次しばらくついに局部火花は維持しえなくなつて消滅する。このような局部火花は、第 1 図に示すように継続時間は一般に



第 1 図 漏れ電流サージの例

0.5~数サイクルで、含水量の多い場合ほど長いものを発生する傾向をもつ。一般にこのような電流を漏れ電流サージと呼んでいる。このように漏れ電流サージの発生をくり返していると、ときには乾燥効果でできなかった新しい乾燥帯もまた局部火花消滅直にフラッシュオーバーして、湿潤帯の幅を一層せばめ、次々と局部火花を増大し、ついに全路フラッシュオーバーにまで移行する。このような現象を一般に漏れフラッシュオーバーと称している。なおこの順次フラッシュオーバーに移行する現象は皮膜と空氣の境界面の絶縁破壊現象であるが、その詳細なメカニズムについてはなお意見の一致を見るまでにいたらない。しかし前述のフラッシュオーバーにいたるまでの現象について、諸家の観測結果はほぼ一致している。なお一定電圧が印加されているがいしのフラッシュオーバーまでにいたる経過の代表的な形を示すと、第 2 図のようになる。図の A 点より時間の経過



第 2 図 漏れフラッシュオーバーにいたる経過例

とともに順次湿潤化され、最初基底電流 I_B は増大し、B 点ぐらゐより漏れ電流サージ I_S の発生を始めるとともに、基底電流は減少する傾向を示す。また I_S は発生当初は大きさが小さいがひん度が多い。しかし時間の経過にしたがって大きさが増加するが、逆にひん度は減少する傾向を示す。(図の C, D 点) 第 2 図の例では E 点でフラッシュオーバーにいたっている。この E 点付近で発生する I_S はがいしの種類、印加電圧などによりほぼ一定したある値 (一般の使用状態では 100 mA 見当とされている) を持っている。またこの図形はわかりやすく描いた代表例であるが、この傾向は、Forrest, Revere 氏らの実測および実験、中島氏の霧室実験などで一致して認められている。また横軸は一般には霧の濃度の大小などによりスケールが異なった

ものとなる。また最大の I_s は、無電圧霧中で測定したときの抵抗の最低値で印加電圧を割った値とはほぼ同じオーダの大きさの電流である。

4. がいし汚損の実態

(4.1) 塩じん害事故例 昭和 20 年以降における塩じん害事故の代表例を第 1 表に示す。表よりわか

第 1 表 大規模塩じん害事故例 (昭和 20 年以降)

地域、分	全線電圧 (kV)	事故線路数 (km)	備 考
北 九 州	27-4	227	— 煙じん害
大 阪 地 方	28-2	100	— "
関 東 地 方	28-9	570	79 台風 13 号
関西および岡山周辺	29-9	1,500 以上	96 台風 12, 15 号
千葉 地 区	30-7	210	10 季節風
防府—徳山 地 区	30-9	562	39 台風 22 号
新潟 周 辺	30-10	123	12 "
伊勢湾 周 辺	30-10	164	16 台風 26 号
長 崎 地 区	31-2	174	10 季節風
姫路—明石—一帯	31-8	183	48 台風 9 号
宇都—徳山 付 近	31-9	179	17 台風 12 号
北 九 州	31-12	1,531	119 煙じん害
東京川崎 地 区	32-	185	16 異常乾燥

るように台風による塩害事故がもっとも多い。これは戦前において見られなかった現象であるとともに、塩じん害対策中もっとも関心を払う必要があり、台風による塩害対策のみを考えれば、季節風による塩害は自ら防止できるとも見られる。また塩じん害事故発生件数は昭和 23~31 年度平均 0.24 件/100 km/年で、昭和 32 年 0.14, 昭 33 年 0.08 件/100 km となっており、雷害事故件数の 1~数件/100 km/年にくらべると件数としては少ない。しかし一度発生すると第 1 表のように大規模の被害が発生し、数時間におよぶ停電は珍しくない。これは一つには一度一線地絡事故が発生すると、他線の電圧上昇により、いままでやっと持ちこたえていたような状態の線路に高電圧が印加されるので、同一系統中の各所で事故が拡大することによるものである。したがって対策を実施するにあたっては一部に弱点を残さないよう万全の注意が必要である。このような事故の推移については、自動オシログラフの記録などより、最近の事故例では順次確認されるようになった。

(4.2) 台風による塩害 過去に起った台風による塩害事故時の気象条件を総合すると、台風の中心が通過した線より東側 100~数百キロメートルよった地域に多い。これは一般に中心の東側は風速も速く、かつ南および西風がおもなる風向となるのと、東側後面は一般に降水量がもっとも少ない地域であることによるものと考えられる。また降水量は 20 mm 以下の少ない場合に多くの事故が発生している。したがってこ

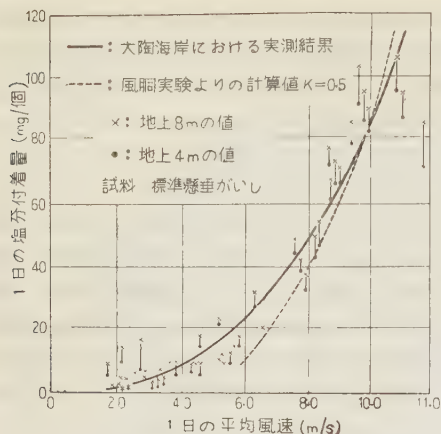
れらの条件からも、だいたい事故発生の可能性を予測できる。また事故発生は台風中では最大風速に達した以後に多く、それ以前は少ない。これは台風の後面が前面より雨量が少ないため、いわゆる風とわずかの雨量という条件がもっとも発生しやすいという台風の一般的な性質に基づくものと推察される。また台風による塩害で、台風後数日経過して小雨、高湿度時に起きるものがある。一般に台風中に発生する事故は耐張、懸垂配置の別なく、ときには耐張配置に多くの事故発生を見ている例が比較的多い。これに反して後日の発生事故では懸垂形のものほとんどいってもよいようである。また台風時空気中に含まれる塩分量はまだ正確につかまれていないが、数例よりおおよそ $5\sim 20 \text{ mg/m}^3$ と見られている。一方台風中にがいしに付着する塩分量の実測値中最大のものは、標準懸垂がいし下面で $0.2\sim 0.27 \text{ mg/cm}^2$ 、上面では $0.2\sim 0.25 \text{ mg/cm}^2$ となっている。この値は台風後に測定されたもので、雨洗効果が混入されているから、果して最大値を押え得ているか否かには多少の疑問がある。また一方風洞実験の結果より、風速 18 m/s, 気中塩分量 8 mg/m^3 と想定して計算すると、3 h で 0.6 mg/cm^2 (855 mg/個) 付着する勘定となる。しかし台風中降雨零ということもないので、ある程度雨洗効果を考え、現在では 0.5 mg/cm^2 (400 mg/下面) 前後を一台風による想定付着量としている。しかし充分切りつめた対策を定めるのには基準となるこの値が重要であるから、将来もっと正確な値をつかんでおく必要がある。また海岸からの距離別最大塩分付着量の例を示すと、第 2 表のからになる。また実際に 30 km 程度の奥地でも事故発生の例がある。

第 2 表 台風時、海岸からの距離別塩分付着量

距離	30m	100m	1km	10km
付着量				
塩分付着密度 (mg/cm^2)	0.25	0.235	0.21	0.186
付着量 (mg/個)	370	348	310	275

以上述べたように、台風による塩害は塩分がわずかに数時間でしかも多量に付着するのが他の汚損原因にくらべ特異とするところである。したがって、塩害対策とは台風対策とみなしても過言ではない。

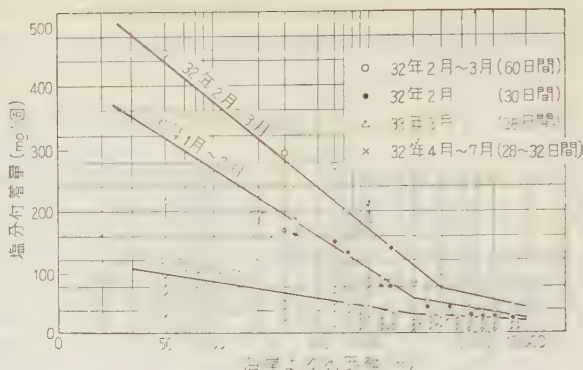
(4.3) 季節風による塩害 季節風による塩害とは主として冬期大陸よりの季節風による塩害で、西~北方向に向った海岸地域に起きるものである。この塩害は太平洋岸では季節風の吹くとき(晴天)にがいしに被塩し、その後の霧ないし小雨のあるときにフラッシュオーバー事故を起すものである。また一方日本海側では風雪を伴って台風中の塩害と同様な現象を示す。し



第3図 風速と塩分付着量との関係

かし台風にくらべ風速も弱く、海上を通過する距離も短いので気中塩分量も少なく、10 m/s で 0.6 mg/m³ 程度である。したがって付着塩分量も少なく、100 mg/個/日程度である。それゆえ一般には少なくとも2回ぐらい(約半月)の季節風に遭遇しても、台風時の1/2程度しか付着しない。したがって台風時のように数時間で危険となるようなことはないから、その対策も保守によりある程度加減できる。具体例として、大陶海岸における実測で得られた風速と付着量との関係例、および関西電力南支店において実測された海岸からの距離と塩分付着量との関係例を、第3図および第4図に示す。第3図は海岸のごく近くの値であるから、これと第4図とを適当に組み合わせると、付着量のおよその見当をつけられる。

(4・4) 煙じん害 煙じん汚損とは一般に工業地域の工場、発電所などからの煙じんによる汚損をいっている。大陸では昼夜の温度差がきわめて大きいので、がいしと周囲の温度差に基づき日出前後の早朝にがいし面が湿潤となり、この種事故の発生が多いので、早朝フラッシュオーバーともいわれている。ドイツにおけるフラッシュオーバー事故はもっぱらこれのようである。わが国では工場地域が京浜、阪神、北九州地区のように海岸に近い地域であるから、ある程度の塩害も伴って事故を発生する場合が多い。また主として雨量の少ない11月末より4月初めにいたる間の、1か月以上にわたる異常乾燥を伴った後の霧ないし小雨時に多く事故の発生を見ている。すなわち1か月以上にわたる比較的長期にわたる汚損の後に起きるものであるから、その対策は保守とも兼ね合わせ幅を持たせうる。煙じんによる汚損物は塩害と異なって、多量の水に不溶性の SiO₂、Fe₂O₃ など土砂、フライアッシュなどの成分が多く、水に可溶性の導電性物質(主として塩



第4図 海からの距離と付着量との関係(関電南支店)

分、SO₃、NO₂ など)は比較的少ない。すなわち、がいし面で含水量を多くしうる性質を持つので、漏れ電流サージの継続時間の長いものの発生する傾向が強い。がいしに付着した煙じん1g中に含まれる導電性物質を塩で換算した値はほぼ20~90 mg/g と大幅な値が測定されている。これは煙じん採取前の降雨状態により大幅に変化するものと見られている。したがって新しいものでは80 mg/g程度と考えるほうが間違いが少ない。イギリスなどでは降下媒煙量を汚損のスケールとし、32 t/km²/月以上の地域を汚損地域と規定している。日本ではフラッシュオーバー電圧に対し、固形物の影響は実際に起きる汚損範囲ではあまり関係がなく、もっぱら導電性物質の量に左右されることと、取り扱いの簡便さからもっぱらががいしに付着する導電性物質を NaCl に換算(導電率より)した量で現わす方法が使用されている。

尼崎地区の工場地域における多くの実測の結果、標準懸垂がいしについて次のような点が確かめられている。(i) 1日あたりの付着量は4~5 mg/日(塩換算)で、20 mm/日以上の雨がなにかぎり日数に比例して増加する。(この値はほぼ工場地域の最悪条件と見られる)(ii) 20 mm/日以上の降雨があると、懸垂つり上面は100%、下面は60%が雨洗される。(iii) 雨洗効果のため耐張つりの下面は懸垂つり下面の11~18%の付着量である。(iv) 課電した懸垂つり下面付着量は無課電のその1.1~1.5倍程度となっている。(v) 懸垂つり下面の付着は中心部ほど多い。

また長幹がいしでは雨洗効果がよいのでその付着量は標準懸垂にくらべ少なく、上面のそれに近い値を示す。これに反し耐霧形がいしでは、内面の蓄積は懸垂より遅いが、雨洗効果が悪いので、時間とともに蓄積してゆく傾向が認められている。

なおこのほかに煙じんと同様な汚損に化学工場付近

(セメント、カーバイド、硫酸など)における工場排煙による汚損がある。これらはときには甚しい汚損を示すが、ごく限られた地域(工場付近の数基)にのみ存在するから、そうとうな過絶縁を行っても大して経費を必要としない。したがってその対策も比較的簡単であるから、ここではあれないこととする。

(4・5) 風洞による汚損試験 上記のような自然曝露下の実測によらず、短時間に汚損に関する基礎的な性質を調べるため、風洞による試験方法が行われている。関西電力における台風塩害を目的とした風速20 m/s までの試験結果によると、標準懸垂がはいしの塩分付着について次のような実験式が得られている。

$$\rho = 2.7(V - 4.5)CK \dots\dots\dots (1)$$

ただし ρ : 塩分付着量 (mg/個/h), V : 風速 (m/s), C : 気中塩分量*(mg/m³), $\rho = k_1 C$,

$k_1 = 2.7(V - 4.8)$, K : 定数

すなわち塩分付着は気中塩分量と風速に比例する。この K の値ははいし表面のぬれ状況(湿度)、汚損状況などに関係する係数で、大陶海岸の季節風による実測結果とは第3図に点線で示したように、 $K=0.5$ とするとよくあうことが認められている。また実験によると、はいしのぬれているときは $K=2$ 程度となる。一方東京電力の横須賀における台風時の実測結果とは1.3が適当している。なお(1)式のように風速5 m/s 以下では急激に付着量が少なくなり、式に乗らなくなる。これは5 m/s 付近に空気の流線の状態が不連続的に急激に変化する点があるためと見られている。また5 m/s 以上の風速では課電の有無による付着の差は認められないとしている。

なおこの種風洞実験では、(i) 風洞出口の大きさと供試品の試験可能限界、(ii) 煙じんを定量再現化する実験技術の開発、(iii) 気中塩分の与え方と供試品の置き方の実際面との結びつきの解明、などが今後に残された問題である。さらに進んでは飛行機の翼のように、模型からの換算の可能性などが的確にされれば大変便利であろう。

5. はいしの人工汚損試験法

汚損がはいしの試験は従来各所でそれぞれの考え方にしたがって、まちまちな方法で行われていた。これでは各所間のデータの相互比較に不便である。そこで統一を図るため、閃絡電圧委員会で昭和32年1月まず自然汚損がはいしの霧中試験法要綱が推奨された。引き続いて今年前述の種々な汚損を考え、それぞれの原因

に対し適當するがいしの人工汚損試験法要綱が推奨され、大綱が統一されるにいたった。しかしまだ充分完全な統一された形態を示すにいたらず、細部にわたっては数多くの問題点を有し、今後の進歩改良を期待する面を多々蔵している。

まず人工汚損方法として、固形物の代表品として日本およびフランスなどでは、との粉、ドイツでははいし土が用いられている。また電解質としては一般にNaClが使用されている。これらをはいし面にぬり付ける方法も、(i) との粉および塩の既知濃度の混合液をはいし面に飽和するまでスプレーする方法、(ii) 一定量を筆でぬり付ける方法、(iii) がいしを暖めておいて一定量スプレーする方法、(iv) どぶ漬けする方法などがあるが、いずれも一長一短あり、統一されるまでにいたっていない。〔ドイツは(iii)の方法〕

一般にはこれを霧室中に搬入し、湿潤状態としてフラッシュオーバー電圧を測定するのであるが、この場合の湿分の与え方も、(i) 加熱蒸気の凝結による方法、(日本ではもっとも多く使用されている) (ii) スプレーガンによる微水滴をスプレーする方法、(Reverey氏推奨) (iii) がいしを冷却しておいて高湿度の部屋に持込む方法(Cron氏推奨)などがある。現状ではいずれの方法がもっとも実際に適當しているか結論が得られていないので、3者並立状況である。最近 Reverey氏は(ii)の方法で水にいくぶん導電率を持たせたほうが実際とマッチすることを述べている。また日本のように台風による塩害を考えると、霧よりもむしろ適當な注水条件のほうが実状に合うのではないかと考えられる。次に霧の濃度を定量化する技術および測定法についても種々議論がある。しかし(i)の方法で標準懸垂がはいしの経験では、ある範囲ではあまりフラッシュオーバー電圧に影響がなく、第2図の横軸の時間に長短ができるだけであることが認められている。またこの範囲の霧と実際のそれとの結びつきについては、安全側にあるだろうと推定されている程度で、あるいは過酷すぎる試験条件となっているかも知れない。この点は今後確かめる必要のある重要な点である。

電圧の印加法についても、多くの問題がある。すなわち、(i) 注水フラッシュオーバーを求めるように、充分湿潤した点で電圧を上昇してフラッシュオーバーさせる方法、(上昇法) (ii) 一定電圧を急激に印加し、フラッシュオーバーの有無を見る方法、(突印法) (iii) 初めから一定電圧を印加しておいて霧を入れ、耐電圧の有無を見る(定印法または長時間耐電圧) 3種の方法がある。(i) は簡単で手数が省ける。(ii) および (iii) は (i) にくらべ手数を要する。また試験目的より対地電圧を

* 気中塩分を与えるには塩水溶液を送風器入口でスプレーガンによりスプレーして混入する方法がとられている。

目標とすると (iii) の耐電圧がよいであろうし、一線地絡時の他線の上昇電圧を対象とするならば、(ii) の突印法が適当していると考えられる。しかし (ii) も厳密には (iii) と併用しないと乾燥帯のできぐわいが異なっており、実際と異なった結果を示すかも知れない。現在の知識では標準懸垂がいしについてはいずれの方法でもほぼ同一の最低フラッシュオーバー電圧が求められているが、長幹がいしなどがいしによっては方法により相当異なったフラッシュオーバー値を示すものもある。いままでの経験では (ii) がもっとも高く、(iii) が低い値を示すようである。推奨案には試験の目的、手数などからいずれの方法も採用できるようになっているが、将来的確にする必要がある。ドイツでは (ii)、(iii) の2本立となっている。

いま一つ試験時もっとも大きな問題となるのは電源容量である。ドイツでは高圧側 1 A に対し電圧降下 4% 以下とし、制限抵抗のそう入を禁じている。日本の推奨案では同様 1 A に対し電圧降下が試験電圧の 35% 以下とややあまい。これは一つには設備の現状を重視したためで、汚損度のはなはだしい、たとえば塩分付着量約 0.2 mg/cm² 以上の供試品などに対しては多少の不足はまぬがれない。なおこの不足を補うため並列に容量をそう入する方法が提案されているが、フラッシュオーバー時異常電圧発生のおそれもあり、まだ充分検討されるまでにいたっていない。試験に必要な最小の電源容量が的確に定量化されるまでには、なお日時を要するであろう。

また台風時の海岸のごく近くの地域を対象として、3% 塩水を 0.2~0.4 mm/min で注水する方法が推奨されている。またフランスでは再現性を重視し水の固有抵抗、注水量ともに低下させた注水試験で汚損試験に代えることを考えている。わが国でも試験電圧委員会で機器の試験電圧にこのような方法を取り入ることを考慮しているようである。

このほか前述の霧中試験の代わりとして、筆者らの提案した等価霧中法と称している日本独自の試験法もある。(試験法要綱参照)

以上のように汚損試験法はまだ試験方法そのものに種々問題点を蔵しており、最近国際的にも CIGRE の Study Committee No. 5 の Insulator 中にも Working group が設けられ、提案された種々の方法が比較検討されることとなっている。このように試験法そのものになお種々議論があるので、これによりがいしの優劣を比較して結論を導くことは、現段階でははなはだむづかしい問題である。

6. 標準懸垂がいしのフラッシュオーバー特性

現在送電線にもっとも多く使用されている標準懸垂がいしについては、汚損特性について多くの実験結果がある。以下その要点の概要を述べることにする。

まず塩分のみを均等に付着させたときの霧中フラッシュオーバー特性については、1 個に対する多くの実測値をまとめた次に示す中島氏の式がある。

$$V_N = \left\{ \frac{1}{24.5w + 0.022} + 9.5 \right\} N \cdot \eta \quad (\text{kV}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで w : 塩分付着密度 (mg/cm²)、 N : がいし連の連結個数(個)、 $\eta = \eta_1 \eta_2$ 、 η_1 : 連効率、 η_2 : 固形物付着による低下率

このうち η_1 はがいし連に塩分のみを付けた多くの実験の結果、85% が適当と認められている。また塩分に、との粉を混入すると、その量が多いほどフラッシュオーバー値が低下する。しかし実際に最悪と目されるとの粉 40 g/l 溶液のスプレー汚損、あるいはとの粉 1 g/個あたり付けた霧中フラッシュオーバー特性は塩のみの場合にくらべ $\eta_2 = 85\%$ 程度となることが実験的に認められている。また煙じんに対しては最悪と目されるフライアッシュ 4 g/個を付けても、そのフラッシュオーバー特性は、との粉 1 g/個のそれとはほぼ一致することが確かめられている。そこでじん害に対しても $\eta_2 = 85\%$ が採用されることとなった。以上は人工汚損試験の結果であるが、自然汚損のものでは不平等に汚損されるので、そのまま適用の可否については疑点を持たれる。そこで自然に塩じん汚損した試料、台風時に被塩した試料などを集め、霧中試験を行って、人工汚損の結果と比較検討された。その結果、自然汚損のものの測定値は、同一塩分付着量に対し相当ばらつきはあるが、最低値を包む曲線は式 (2) の $\eta = 70\%$ の曲線とはほぼ一致することが確認されている。また人工的に自然汚損の形状を模擬するため、上面の付着量を変化した試験結果では、上面の付着量の相違によるフラッシュオーバー電圧の変動は実用範囲ではそれほどフラッシュオーバー値を決めるに有力な役割を果さず、フラッシュオーバー値はもっぱら下面の付着量にしたがって定まることが確かめられている。したがって雨洗効果も下面が洗われないと効果が薄い。これらの結果を総合して標準懸垂のフラッシュオーバー特性として塩害、煙じん害ともに実用上前記 (2) 式の $\eta = 70\%$ とした値が推奨されている。なお塩分付着量の表現については下面外 (ピン周囲のひだを除く) の付着量で示すことが推奨されている。

次に塩害中もっとも問題となる台風に対し、海岸の

ごく近傍のがいしを対象として、塩水注水フラッシュオーバー特性が求められている。これによると 3%, 0.3 mm/min 注水条件では懸垂配置で 6.0 kV/個、耐張配置では 7.5 kV/個まで低下する。またがいしにあらかじめ固形物の固着しているものではこの値はさらに下回り、実用上は懸垂 5.0 kV/個、耐張 6.0 kV/個を考慮する必要があると認められている。

以上現状で考えられている懸垂がいしの汚損フラッシュオーバー特性について述べた。このうち霧中フラッシュオーバー電圧については実際の気象条件と霧室との関連性について、もう一つつきつめた検討が行われていない。また台風時の試験条件の想定も基礎資料の不足な点が多々認められる。これらはいずれも安全側に考えマージンに含ませて考慮しているが、経済面を充分考慮した適切な対策を樹立するためには、なお今後とも検討を必要とする点である。

以上はすべて商用周波交流電圧に関する話しであるが、衝撃電圧、開閉サージなどに関しても汚損時のフラッシュオーバー電圧の低下はある。これらは商用周波数ほど詳細には検討されていない。しかし今後充分な検討に伴って絶縁協調を考える上にも織り込まれてゆくこととなるであろう。紙数もないのでここでは省略する。

7. 塩じん害対策

(7・1) 塩じん害対策の考え方 塩じん害対策の考え方は下記のように要約される。

(1) フラッシュオーバーさせないようにする対策

(i) 設計面よりの対策 (a) 過絶縁とする、(b) 特殊がいしを使用する。

(ii) 保守運用の面よりの対策 (a) がいし掃除(水洗、クリーナなど)の励行、(b) シリコーン処理でがいし面に撥水性を持たせる、(c) 予防停電を行う。

(2) 被害を少なくする対策 (がいしの破損防止)

(i) 設計面よりの対策 (a) 耐アーク用ホーンを採用する、(b) 高速度しゃ断方式の採用。

(ii) 保守運用面よりの対策 (a) 強行送電の実施を手加減する、(b) 事故発生のおそれある気象条件のとき、波及を小地域とするため、系統の切り分け、接地方式の変更を行う。(消弧リアクトル→抵抗接地など)

(1) の (a) については塩塵害対策委員会で種々議論され、一応の推奨案が得られている。(後述) (b) についてはイギリスおよびアメリカでは耐霧形状の懸垂がいしが常用されている。またドイツではその性能を認めながらも、他の理由から長幹がいし、VK 形など

を使用している。しかし最近では長幹に耐霧がいし状のひだを持たせたものを重汚損地帯用として研究を進めているようである。

わが国では最近長幹がいしがやっと一部軽汚損地域に使用しはじめられ、その規格化が推進されつつあるが、なおその形状などについても種々研究が進められ活発な論議が行われている段階である。

(ii) の保守面の対策として、アメリカでは自動車を使用し、高圧力水による水洗方式が海岸地域で実際に取り入れられ効果をあげている。わが国では地理的条件よりごく一部に試験的に行われている程度で、もっぱら人力によるクリーナ方式が煙じん地域で賞用されている。また最近アメリカではシリコーングリース処理を行い、汚損地域の発変電所で優秀な実績を得、送電線にも適用されつつあり、寿命も 1~2 年程度といわれている。これに刺激され、各国においても研究が進められつつある。わが国では経済面にも難点があり、まだ研究の段階で、広く実用されるまでにいたっていない。イギリスでは価格の安い Petroleum Jelly の使用を考えている。

(2) の (i) の耐アーク用ホーン使用対策は、汚損フラッシュオーバーの際のカスケードにより沿面に発生したアークをなるべく早く磁器面より引き離し、がいし破損を防止しようという考えである。これについては耐アーク研究会で研究が進められ、一応の結論が導かれている。また高速度しゃ断による方法は、現状の 5 サイクル程度でしゃ断しても、事故電流が 20,000 A におよぶと、これのみで完全にがいし破損を防止することはむずかしいことが実験的に認められている。

(7・2) 汚損区分 がいしの汚損は使用する地域で大幅に差があるから、画一的に取り扱うのは甚だ不経済である。したがってある程度区分を設ける必要がある。これに対しヨーロッパ諸国では第 3 表にその平均値を示すような区分が推奨されている。わが国ではより定量化を目ざし、それぞれの地域に許しうる想定等価塩分量を定め、これ以下に保守する前提条件の下に必要ながいし個数を定めて推奨している。またそれぞれの地域区分に対しては現在の知識を基として、保守

第 3 表 ヨーロッパにおける地域別所要漏れ距離

地 域	線間電圧 kV 同右、対 あたり所要漏れ距離 (cm/kV)	対地電圧換 算値 (cm/kV)	標準懸垂 枚数 (kV/個)*	地 域 区 分
Zone 1	1.6	2.7	10	農地、森林
Zone 2	2.3	4.0	6.8	工場地域周辺、海に近い地域
Zone 3	3.0	5.2	5.2	工場地域、海岸地域
Zone 4	4.0	6.9	3.9	きわめて悪い工場地域、化学 工場、火力発電所近傍

* 対地電圧 (kV/個)

第4表 汚損区分

汚 損 区 分		A	B	C	D	E
想定最大等価塩分量(mg/下面)(中央部除く)		50	100	200	400	海水のしぶき 3.0%塩水 0.3mm/min 水平分梨定
海岸よりの既路の距離範囲	台風塩害に対して	一般の地域	5~15km	1~10km	0~3km	海岸の地形および構造により 0~300m または 500m
	季節風塩害に対し		1~5km	0.5~2km	0~1km	
発生源よりの距離範囲	工場地域に対して		工場地域の周辺など、比較的軽度の塩じん害地域	工場地域の中心部		

第5表 最低必要がいし連結数(個)

電圧階級 (kV)	地域区分				E*	
	A†	B	C	D	耐張	懸垂
60	4	5	6	6	7	8
70	5	6	7	7	8	10
100	7	8	9	10	11	14
140	9	11	12	14	16	19
250	16	19	22	24	28	34
負担電圧 (kV/個)	10.7	8.8	7.8	7.1	6.0	5.0

* 海岸のごく近く

† 一般の地域

ともあわせて汚損原因別に第4表に示す概略の相当範囲を定めている。

(7・3) 過絶縁対策 計画面よりの塩害対策の一つである標準懸垂がいしを使用した過絶縁対策については研究が一段落し、第5表にその主要点を示す推奨案が推奨されている。なお表の算出根拠の主要点は次によっている。

(i) 汚損区分 ABCD 地域の許しうる付着等価塩分量は表の値とする。

(ii) フラッシュオーバ電圧は6章に述べた(2)式の $\eta=70\%$ とする。ただしE地区は6章の塩水注水条件の値とする。

(iii) 電圧は公称電圧 $\times 1/\sqrt{3} \times 1.15$ を考慮する。などによっている。この電圧に対しては現在でも種々異論があり、将来フラッシュオーバの $v-t$ 特性などの解明ともあわせ、なお充分検討を要する点である。しかし現状では過去の実績、経済面、確率的な考慮などよ

り、上述の値が適当との見解の下に推奨されている。

8. む す び

以上がいしの汚損の実態とフラッシュオーバ特性ならびに塩じん害対策の概要について、送電線を対象とし、主として標準懸垂がいしを中心に述べた。長幹がいしなど特殊がいし、活線注水洗浄、シリコングリース処理、異常電圧に対する検討などについてもいまだ少し詳細な解説を志したが、紙面のつごうもあり、割愛させていただくこととした。また本文にも説明不十分で、充分意を解しがたい点も多々あるかと思われるが、詳細は末尾に付した主要な文献を参照していただきたい。

終りに終始ご指導をいただいている塩害対策委員会法貴委員長、中島教授、山田元第二電力部長、関係委員各位に厚く謝意を表す。

文 献

- (1) 電気協同研究 15, (昭 35)
- (2) 中島：電学誌 74, 894 (昭 29)；61, 415 (昭 16) 等
- (3) 関西電力：碍子の塩塵害対策に関する研究報告 (昭 33)
- (4) 関西電力委員会：電学誌 77, 55 (昭 32)
- (5) 関西電力委員会：電気学会技術報告 第 41 号
- (6) J.S. Forrest: J. Instn Elect. Engrs 89, 69 (1942)；CIGRE No. 218 (1954) 等
- (7) H.V. Cron: CIGRE No. 203 (1956)；E. Wirt. 57, 796 (1958) 等
- (8) G. Reverey: CIGRE No. 210 (1960)；E. Wirt. 58, 241 (1959) 等
- (9) G.L. Hill: Trans Amer. Inst. Elect. Engrs 66, 1203 (1947)
- (10) 山田・法貴・三田・竹村・比留間：電試研報 No. 550 (昭 30)；No. 562 (昭 32)

学 界 時 報

- | | | |
|----------------|----------------|----------|
| 1. 教育・研究 | 2. 電気物理および回路理論 | 3. 電気測定 |
| 4. 電子装置 | 5. 電子回路 | 6. 電気機器 |
| 7. 電力 | 8. 照明 | 9. 電気鉄道 |
| 10. 電気通信 | 11. 電気材料 | 12. 電力応用 |
| 13. 自動制御および計算機 | 14. 原子力 | 15. 雑 |

1・408. 西ドイツの工業大学の技術教育

D. B. Welbourn, D. B. Spalding & G. L. Ashdown: Engineering Education at the Technical Universities in Western Germany. [Proc. Instn Elect. Engrs, Vol. 106, Pt. A, No. 30, Dec., 1959, p. 409~419]

イギリス、ドイツの大学技術教育の水準を比較するために、おもにベルリン、ミュンヘン、アーヘン工業大学の電気、機械工学関係を調査したイギリスチームの報告から、ドイツの大学組織と教育の概要を紹介し批判を加えている。

西ドイツの大学技術教育は8工業大学で行い、1956年-7学年卒業生は機械 1,200 名、電気 720 名、土木 680 名で、化学工学は独立せず機械工学に含む。

大学は学長、前学長、各学部長その他の選出教授からなる理事会が統轄する。正教授は学部の推薦と理事会の支持により講座に招へいされるが、おおむね 15 年の産業経験があり、活発な教授の教室はすぐれた設備を整え、応用科学の一分科よりもむしろ工業設備の特定部門で活躍する産業センタあるいは研究組合的な性格をもつ。教授の停年は 68 才で他の職員との待遇差がはなはだしく、教室の機構、運営、所属職員の任免が意のまま、給与は魅力的ではないが、優秀技術者をひきつける。教職員对学生比 1: 12 で教授の不足が著しく、授業負担が週に 13~20 h におよぶため、学生と個別的接触が不十分で研究も阻害される。さらに教室間の融通性が乏しく、講義内容の重複や教育負担の不均衡がみられる。

高等学校卒業はおおむね 19½ 才で、数学と科学の水準が高く、卒業試験の合格が大学入学の唯一の資格であるが、最低成績を規定している大学もある。4 月に卒業し、大学入学の 11 月まで 6 个月を工場実習にあてることが大学始業の必要条件で、次期休暇に 6 个月、計 1 年の実習を行い、報告を提出して口頭試験を受ける。

2~2½ 年経つと演習、実験、製図、筆記、口頭試験を含む予備試験を受け、約 20 % が整理されて退学し、試験後、合格者に大学間および学部間の移動が認められる。教科はこの試験を境に、理論および実地の

広範な基礎から、特定分野にしばられ設計に重点をおく。

4 年で卒業できるのがたてまえではあるが、所定の課程が過重のため終えるのに 5 年を要する者が多く、卒業論文は 3 个月以上の労作で設計、実験研究を主とし理論調査は少ない。学位の取得は専門技師の資格を与え、イギリスの卒業後 2 年間実習を終えたものに対応する。

大学院課程はないが、教授の勧めにより初級実験助手として学校に職を得て卒業後も研究を続け、3 年ほどで論文を提出し口答試験に合格すると工学博士となる。

イギリスの技術教育が分析的で理論を統一的、包括的な形で与え実習は機器の運転、試験程度なのに対し、ドイツは総合的で事実の学習を重視し、設計に重点をおいて、狭い分野の専門と実地にすぎるとの批判もある。

ドイツの電気工学教科細目など 13 表を添え、ミュンヘン、パタシー両大学の学位教科の比較を行っている。(池田、西谷健作)

1・409. 工業教育の問題

Problems of Engineering Education (Report of a Group of German Professors). [Proc. Instn Elect. Engrs, Vol. 106, Pt. A, No. 30, Dec., 1959, p. 420~424]

大学技術教育の情報交換の目的で、1958 年 6~7 月にロンドンおよびケンブリッジ大学とパタシーおよびラグビ工業大学を訪れた西ドイツ教授団の報告である。

イギリスの大学技術教育は(1)基本的な科学原理を基礎にして数学と応用科学の習熟に重点をおき、大学の学位[B. A または B. Sc]を与える工学一般の 3 年課程と、(2)技術の原理に基づき工学の実地に重点をおいて、技術授与国家会議から技術の学位[Dip. Tech. (Eng.)]を受ける。3~4 年課程と工場実習 1 年以上との組み合わせ、あるいは大学と工場を交互に組み合わせた 5 年のサンドイッチ課程に二大別され、後者は上記の工業大学に前者とともに併設されている。

ドイツの教授が学部内で皆対等であるが、イギリス

は教授、助教授、上級講師、講師からなる階級制をとり、それぞれ報酬が異なるが、学術的な資格や教育、研究の責任の度合を示すものではない。同一部内の昇進が可能で、また研究項目の調整や研究、教育の負担の平均化が行われる。教職員対学生数比は 1: 8~12 である。

ドイツの高等学校卒業証書は大学入学の資格を与えるが、イギリスでは入学試験の合格を要し、高等学校卒業試験で個々の課目に良い成績を得ることが特定校の入学に必要である。大学は講義、演習、ゼミナールによる教育とともに、教員と学生の居住施設を備え、学生の社会生活の教育に貢献する。教授法はドイツより基本的、かつ試験との関連が密で、教員の人格、個性の発揮は制限される。試験問題は学外の代表者を交えた大学の委員会が作成し、筆記で行われる。大学院課程はすでに職をもつ技術者が特別な題目を学ぶ 1 年課程で、最新の進歩を扱い、終了試験の合格者に特別証明書を与える。

ドイツでは学術資格が技術者の専門資格を兼ねる結果、教員と学生には二重の負担で 5 年を必要とし、学習課程を専門研修と組み合わせるためそれぞれの工学部門が同様な教科を実施するが、イギリスでは両資格を分離し、前者を大学が与え後者は専門学会が資格試験を課して与えるため、各大学は教科に特徴をもち、試験の重点や基準も任意で、教員は科学の急速な進展に応じるのが容易となり、奨学補助金を受ける多数の学生は経済的負担の配分につごうがよい。技術学習の国民生活におよぼす重要性に対するイギリスの認識はドイツをはるかにしのいでいる。(池田、西谷健作)

2-410. 太陽電池のエネルギー変換機能に対する温度の影響

Joseph J. Wysocki & Paul Rappaport:
Effect of Temperature on Photovoltaic Solar Energy Conversion. [J. appl. Phys., Vol. 31, No. 3, March, 1960, p. 571~578]

太陽電池としての PN 接合の特性が温度変化により与える影響を理論的に調べている。とりあげた温度範囲は 0~400°C であり、PN 接合としてはエネルギーギャップ E_g が 0.7~2.4 eV の半導体材料によるものについて計算例を示す。(Ge, Si, InP, GaAs, CdTe, AlSb, 70% GaAs-30% GaP, 50% GaAs-50% GaP, CdS) このうち Si, GaAs, CdS については既製の PN 接



$$(1) I_L = I_s - I_j$$

$$(2) I_j = \Sigma I_0 [e^{qV/kT} - 1]$$

第 1 図

合に対し実際の測定を行っている。

太陽電池の等価回路は第 1 図に示されるが、接合電流 I_j はショックレーのモデルに

したがう理想的な接合電流と、再結合電流、リーク電流の和からなると考えられ、 $I_j = \Sigma I_0 (\exp qV/kT - 1)$ と表わされる。また短絡電流 I_s は E_g より大きいエネルギーの光子の数を $n_{ph}(E_g)$ 、Collection 効率を Q 、反射率 γ 、吸収層を l とすると、 $I_s = Q(1-\gamma) \times (1-e^{-\alpha l}) q n_{ph}(E_g)$ となるが、Lifetime が充分大で、したがって拡散距離 L が PN 接合の表面からの深さより大であるときには $I_s = qg[L_n + L_p]$ となる。 g は光照射による電子-正孔対の発生率である。ところで上記 I_s と I_j の温度による変化を考えると、 I_s については $L = (D\tau)^{1/2}$ と、 q の温度変化があげられるが、 $D \sim T^{-1/2}$ で変化しその影響は小である。 τ はショックレーリードの関係からトラップレベルの差の kT に対する値で決まってくるが、Doping level が 10^{17}cm^{-3} 程度の材料では問題とする温度範囲で τ は大体一定値をとると考えられる。また q の変化は E_g の変化によるものであるが、温度による変化は小である。結局 I_s の温度変化は小で無視できる程度となる。次に I_j について更言上。

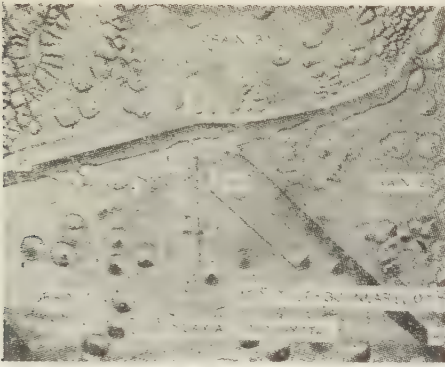
(1) I_j が PN 接合の理想電流であるとき、(2) 再結合電流だけからなるとき、(3) (1)、(2) の両方の電流の寄与であるとき、についてそれぞれ考える。(1) では I_0 は n_i^2 を含み温度に対し指數的増加をする。(2) の場合はショックレーリードの再結合の関係式から、 I_j はトラップの位置で決まる活性化エネルギーをもち、温度に対し指數的増加を行うことがみちびかれる。(3) では (1)、(2) 両方の効果が含まれる。

以上の考察から、(1)~(3) の場合に対しセルの特性を決めるパラメータと温度の関係が計算できる。計算に用いた数値は推定値である。その結果は (1) の場合が最上であった。また実測結果については Si, GaAs では理論計算と一致を示すが、CdS セルの場合は $E_g = 1.1 \text{ eV}$ の半導体に対する値と同様な結果を示し異常である。(北村、片岡行雄)

2-411. ゲルマニウムの結晶境界

Richard S. Wagner & Bruce Chalmers:
Grain Boundaries in Germanium. [J. appl. Phys., Vol. 31, No. 3, March, 1960, p. 581~587]

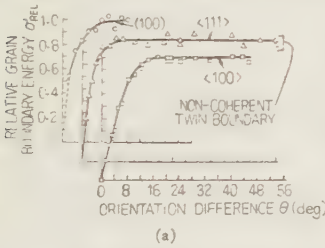
結晶境界は転位列よりなるというモデルによって、Read と Shockley が導き出した結晶境界のエネルギー E と、境界傾角 θ の関係 $E = E_0 \theta (A - \ln \theta)$ はけい素鉄、すず、鉛などをを用いた実験において、その正しいことが確かめられてきたが、本報告はゲルマニウムの結晶境界についても、この理論が正しいことを実験的に示している。この実験のために、10~30 ncm のゲルマニウムを使用し、定められた方向と角度をもたせた 3 本のシードを用いて、三つの結晶境界をもつ Tricrystal を作った。この際、この実験の性質上、境界を規定する角度については、高い精度が必要とされ、特に θ は光



第1図 結晶境界のなされた三重晶

学的方法により $\pm 2'$ の精度で決められている。

Tricrystal としては、 $\langle 100 \rangle$ 方向に引き上げられ、 $\langle 100 \rangle$ 面内で三つの境界が交差している $\langle 100 \rangle$ Isoaxial のもの、 $\langle 111 \rangle$ について同様のもの、および $\langle 100 \rangle$ 面を Isoplane とするねじれ境界をもつものの3種を作った。第1図は $\langle 100 \rangle$ Isoaxial の3, の結晶境界が交差している Tricrystal の $\langle 100 \rangle$ 面を示す。これらのそれぞれについて、境界エネルギーの相対値と θ の関係を測定し、その結果が第2図に示されている。



(a)



(b)

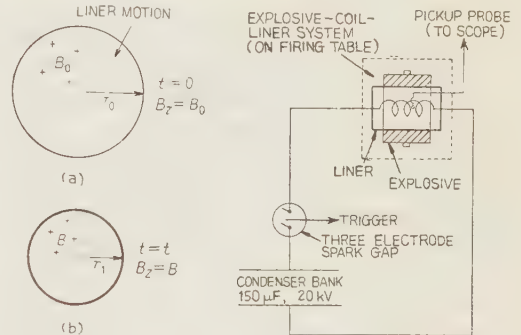
第2図 双晶間の傾角と境界エネルギー

いては、この実験からは望めない。(鳩山、飯塚 隆)

2・412. 爆発で強い磁界を作る方法

C.M. Fowler, et al.: Production of Very High Magnetic Fields by Implosion. [J. appl. Phys., Vol. 31, No. 3, March, 1960, p. 588~594]

初めに円筒状の境界中に閉じこめておいた 10^5G 程度の axial な磁界を、爆発物によって磁束を圧縮して、瞬間的ではあるが $10\sim 15\text{MG}$ の強磁界とすることができる。すなわち初めの状態が第1図(a)に示すも



第1図 強磁界発生 の原理

第2図 実験装置

のであったとすれば、Axial な磁界を閉じこめた完全導体の円筒を図の(b)のように縮めることによって磁束密度はふえるので、これを式でかけば、磁束密度の保存を前提として次のようになる。

$$B = B_0 (r_0^2 / r_1^2)$$

この考えを実験するには第2図のようにすればよい。すなわち、金属製の円筒の中に初めの磁界を発生させるためのコイルを入れて円筒のまわりは爆発物でつつむ、コイルの両端はコンデンサ回路につなぐ、まずコンデンサの放電によって流れる大電流によって円筒内に初めの磁界をつくり、次に爆発物の点火によって円筒を縮めて中の磁束を圧縮した高い磁束密度、つまり強磁界を得ようというしくみで、磁界の大きさなどは適当な Probe によってオシログラフでみるのである。

コイルは普通は太い銅線を 1in あたり 3ターンの割合で外径 3in 程度に巻いた。同筒は肉厚 1/8in, 内径 3in の銅または黄銅製である。初めの磁界をつくる時には同筒は電気的に開いた回路でなければならぬので、軸方向に切断してすき間をつくった。なおこのすき間の誘起電圧は kV の程度である。次に磁束を圧縮するときには円筒は導体でなければならず、爆発によって円筒が縮められたとき閉じた回路になる必要がある。この辺が実験的にはやっかいなところである。爆発物としては

$$\text{B}(64/35/1: \text{RDX/TNT/wax})$$

という化合物を適当に用いた。

直径 6 mm, 長さ 50 mm の容積にわたって磁界のピークが 14 MG, 10 から 14 MG まで続く時間が 2 μ s というのが代表的な実験結果の一例である。

(鳩山, 鈴木 満)

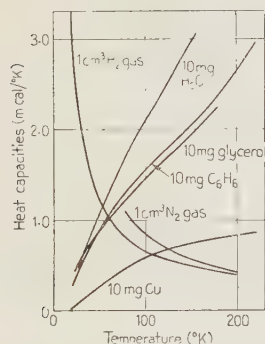
2.413. 単結晶の低温 X 線回折

J. H. Robertson: X-ray Diffraction by Single Crystals at Low Temperatures: A Cryostat for use with Liquid Hydrogen. [J. sci. Instrum., Vol. 37, No. 2, Feb., 1960, p. 41~45]

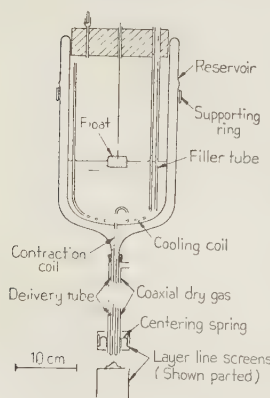
X線回折で低温を用いることは非常に有益な知識を与える。液状、気状の物質を氷結して単結晶の技術を適用することができ、また熱振動の激しい固体でも、それを減少して電子密度の正確な測定を行うことができる。X線回折で用いられる低温実験法には、いろいろな方法があるが、ここでは Gas cooling の方法を採用した。それは試料が小さな支持棒につけられて、

回転が自由にできる。また写真をとる上からもフィルムは自由に動かすことができない。さらに試料冷却とは別に機械の冷却は最小限に押えられなければならないからである。次にガスの冷却能を考えてみる。これは単位体積あたりの熱容量で表現する。

H₂, N₂ ガスの場合を第 1 図に示す。H₂ と N₂ との差はその比熱の差による。H₂ ガスが 1 cm³/s の割合で流れているとき、25~30°K の点で吸収される熱量は 2 mcal/s である。H₂ ガスが N₂ ガスにくらべ冷媒としてすぐれている点は、さら



第 1 図 単位体積のガスの熱容量と他の物質との比較



第 2 図 水素ガスを
用いた Cryostat

に二つあり、その一つは熱伝導率である。25°K においても 80°K の N₂ にくらべ 2.5 倍になる。他の一つは粘性であって、80°K における N₂ の 1/5 以下、

すなわち 25°K において 1.5×10^{-3} cP である。しかし He ガスを用いるとさらによくなるが、これはコストが高い。そこで著者は H₂ ガスを Gas flow cryostat に用いた。静かに Boil されて出てきた H₂ ガスをデュワーびんの頭部から集めて、らせん金属管に通じ、びんの底部から Jet させる。第 2 図にこの装置を示す。図示のデュワーびんの容量は 3 l である。ガスの流れる管の内径は 3 mm, 外径 10 mm である。ゴム栓につけてあるバルブを閉じると、ガス圧によりガスが流れ始める。このガスの流れはびんの口で少し温たまり、底で冷却される。この冷却のとき、液体をさらに Boil することになる。かくして Cold gas の流れは続き、バルブを開けると中止される。Cold jet は Dry gas の流れに包まれ、その外側に Weissenberg カメラの Layer line screen がセットされる。H₂ の場合、750 cm³/h の流れにして、液体をつめかえるまでに約 4 h 保たれる。Jet のところにおける温度の測定には O₂ ガスを凍らせることから決めるのがもっとも適当である。一例として 23°K まで冷却された Ammonium oxalate の単結晶の Weissenberg 写真を示してある。

(鳩山, 石井善正)

2.414. 縦ホール効果

L. Grabner: Longitudinal Hall Effect. [Phys. Rev., Vol. 117, No. 3, Feb. 1, 1960, p. 689~697]

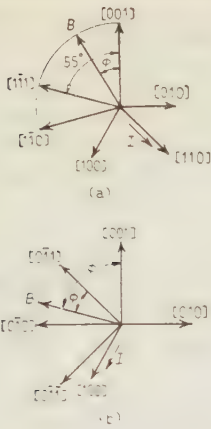
半導体に適当な電極を付け電流を流し、これを磁界の中に置いたとする。すると Onsager の関係により、電流と同じ方向の電界は磁界 (B) の奇関数で表わされる。その例として横および縦方向 Magnetoresistance 効果が知られている。一方、電流に対して垂直方向の電界は磁界の奇および偶関数の成分で示される。偶関数の項は“Planar”ホール場を表わす。また奇関数の項 (\bar{E}) は Casimir のよび方にしたがって“ホール場”といい、実験室座標に対し二つの成分を持っている。すなわち通常ホール係数などを求める場合にわれわれが測定する“横ホール場” (\bar{E}_{BXT})、およびこれから述べる“縦ホール場” ($\bar{E}_{IX(BXT)}$) である。これらは次の式により定義される。

$$\bar{E}_{BXT} = (\mathbf{R} \times \mathbf{I}) \cdot (\mathbf{B} \times \mathbf{I}) / B I \sin \gamma$$

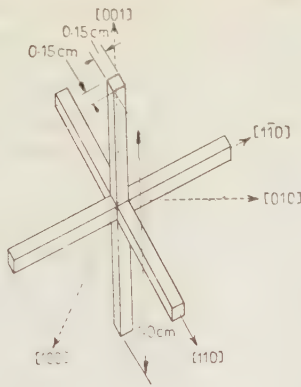
$$\bar{E}_{IX(BXT)} = (\mathbf{R} \times \mathbf{I}) \cdot [\mathbf{I} \times (\mathbf{B} \times \mathbf{I})] / I^2 B \sin \gamma$$

ここで $(\mathbf{R} \times \mathbf{I})$: ホール場, \mathbf{R} : ホールベクトル, γ : \mathbf{B} と \mathbf{I} の夹角

この二つのホール場による効果はそれぞれ異なった性質を持っている。すなわち“横ホール効果”は磁界の強度とともに単調に増大し、帯構造やキャリアの散乱機構には依存しない。しかし“縦ホール効果”は帯構造に依存し、強磁界では飽和し消滅する。またエネルギー面が球状の半導体の場合、および結晶の回転軸に平行に磁界を加えた場合には“縦ホール効果”は見



第 1 図



第 2 図

られない。

さて電流磁界および結晶軸の方向を、(1) B を (110) 面内とし I を $[110]$ 方向とする、(2) B を (100) 面内とし I を $[100]$ 方向とする、この二つの場合について実験を行った。磁界と結晶軸の挟角 (θ および ϕ) は第 1 図のように選ぶ。試料は N-Ge (1.5×10^{18} carrier/cm³) を第 2 図のように加工して使用する。温度は 200°K および 77°K で、磁界は最大 20,000 G である。

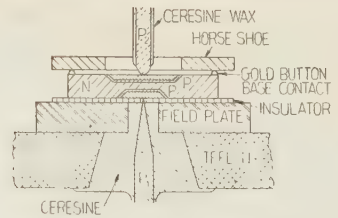
各温度で、(1) θ, ϕ を一定として“縦ホール”電圧と磁界の強さの関係、(2) 磁界一定としての“縦ホール”電圧の θ, ϕ に対する依存性、(3) 縦、横ホール電圧の比と磁界の関係、を測定した。これらの結果は理論的に計算した値とよく一致し、理論的にもまた実験的にも“縦ホール効果”の存在が確かであると結論している。(北村, 小田 研司)

2.415. シリコントランジスタ の電界効果

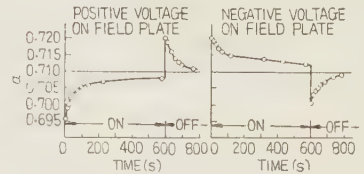
B. Schwartz & M. Levy: Field Effect on Silicon Transistors. [Proc. Inst. Radio Engrs, Vol. 48, No. 3, March, 1960, p. 317~320]

半導体の表面に垂直に電界をかけると、そのために誘起される電荷が表面伝導をひき起し、またそのとき“早い”表面準位につかまえられる電荷が、ゆっくりと“遅い”表面準位に移動するため、時定数の長い現象が伴って起る。これがいわゆる電界効果で、物理的にはゲルマニウムの薄片で多くの実験がすでに報告されており、また実用的には PN 接合の逆方向特性などを関連させて、いろいろの測定が試みられている。

ここでは、シリコンについてこの点の実験をするため第 1 図のような構造に、アロイ形トランジスタに電界印加用電極をつけて測定を行った。当然予想されるように、トランジスタのベース接地の電流増幅率 α が、この電界効果のために変化を示す。つまり、表面



第 1 図 表面電界効果測定装置



第 2 図 結果の一例

のポテンシャルが変動するために、その再結合速度が変わり、これが α を変えるわけである。第 2 図はその例で、普通の電界効果の場合と同様、電界をかけたときと切ったときに急な変化が出て、のちにゆるい減衰がついてくる。実際的には、電界は 10⁶V/cm ぐらいまでかかり、誘起される電荷は 1.7×10^{12} /cm² 程度と考えられる。

この実験結果を解析するには、当然 Webster の式が利用される。これは α と表面再結合速度 S との関係式になっているからでつごうがよいのである。一方、Many ちがすでに S と表面のポテンシャル ϕ_s との関係を出しているから、これらの結果を入れると、この実験をしているときの、シリコンの表面のポテンシャルを導き出すことができる。これはさらに、周囲のふんい気をいろいろに変えることによって変化させることができる。つまりこの実験によって、 ϕ_s と S とを出すことができるわけである。

また、ゆっくりした減衰のほうは、表面の適去の状態に依存するから、表面に成長している酸化層についての知識を得ることができる。

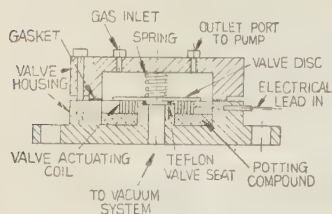
すじのとあった見とおしと、予想どおりの結果と、常識的な解析の論文である。(鳩山, 菊池 誠)

2.416. 高真空中ヘガスを注入するための 磁気駆動高速度開閉バルブ

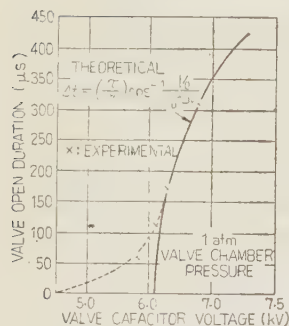
B. Gorowitz, et al.: Magnetically Driven Fast-Acting Valve for Gas Injection into High Vacua. [Rev. sci. Instrum., Vol. 31, No. 2, Feb., 1960, p. 146~148]

真空容器内に高温プラズマを注入させるいわゆるプラズマ銃は研究上有用なものであり、近年これの開発が盛んに行われている。プラズマ銃では約 100 μ s 以内にガスをパルス的に放出させるバルブが必要となるが、本論文では磁氣的に駆動されたバルブの構造、

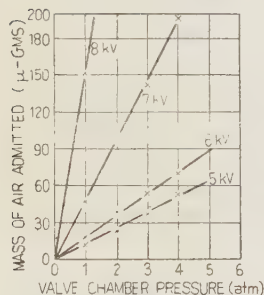
特性について述べられている。第1図はこの構造で、コンデンサ放電によりコイルに電流を流すと、コイルの上におかれた黄銅製円盤内にうず電流が流れ、



第1図



第2図



第3図

バルブの開放時間を測定するため、円盤の下にあるガス放出用の穴の中央に細い金属線をそう入し、これとバルブとの間に 600 V の電圧を印加して、ガス放出の際の放電電圧または放電電流の波形を観測した。この方法による測定結果を第2図に示したが、開放時間が 60 μs 以下の場合には 600 V では放電が発生しなかった。バルブが閉じてからある時間は放電が持続するので、実際のバルブの開放時間は第2図の結果よりも短いであろう。ガスの放出量はバルブ開放前後の高真空容器の気圧を測定して求めた。この結果は第3図のごとくである。以上の結果より、所定量のガスを放出させるための時間を短縮するには、バルブ駆動用のコンデンサの充電電圧を低くし、かつ高圧側の気圧を高くすればよいことがわかる。

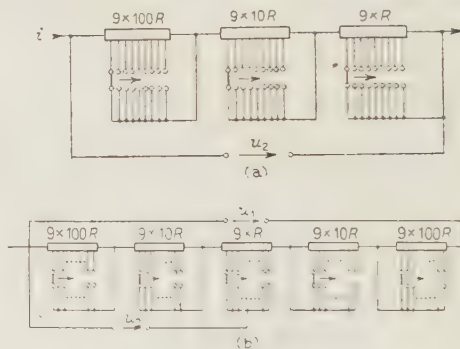
(中野, 林 泉)

3.417. インパルス数と変化量の積の測定

Rudi Giersiepen u. Fritz Wenzel: Über die Messung des Produktes einer Impulszahl mit einer veränderlichen Größe. [Arch. tech. Messen, Lief. 290, März, 1960, S. 53~54]

たとえば、ある混合気体の一定体積中の酸素の含有量を測定したいようなとき、混合気体の体積 z と酸素濃度 x との積 $y = x \cdot z$ を簡単に求める方法について述べ、これを呼吸空気中の消費酸素量の測定に応用した点にも触れている。

気体の体積 z は流量計に取り付けた円板の回転角を光電的にインパルス数 n に変換し、これを計数する。計数速度が 15 c/s 以下では電磁計数器、たとえば回転スイッチや継電器を使用すると便利である。積の測定は第1図のようにインパルス数 z を可変抵抗で置換し、これを計数器の接点で切り換える。変化量 x は (a) では電流 i_1 , (b) では電圧 U_1 に比例したもので、出力電圧 U_2 は積 $y = x \cdot z$ に比例する。この場合インパルス z の積算中は変化量 x は充分正確に一定値を保つよう測定時間を短くする必要がある。実際の



第1図 計数継電器を使用した乗算回路

抵抗切換えには、10 個の電磁継電器を1組とした計数継電器を使用した十進計数器で、b) の場合には i_1 の負荷が変化しないようコンペンゼータの場合と同様な方法がとられる。したがって、 n けたの計数には $(2n-1)$ 組の抵抗と計数継電器が必要である。計数継電器の最高速度は 1 けたでは 25 c/s, けた上げにはパルス幅を多少大きくする必要があるので 15 c/s までに制限される。

使用例として、呼吸空気中の酸素成分の測定装置では、空気体積の測定は体積流量計の指針に穴あき円板を取り付け光電的に検出し、インパルスを増幅成形して 2 けたの計数継電器で積算する。測定時間は、呼吸周期が (6~50 回/min) なので 0.5~10 min 程度。酸素濃度は呼気と吸気の差、すなわち消費酸素量でよいので Hartmann & Braun の濃度測定器により定量し

電圧として表われるが、10% 濃度差で約 4mV であった。

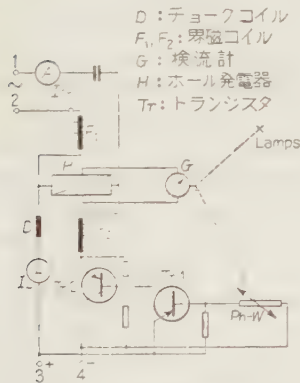
測定精度は計数速度により決まり、15 c/s で最小パルス間隔は 60 ms、このとき流通する体積が最大可能誤差となる。これは測定時間と円板上の穴の数を適当に選択すれば常に 1% 以下にすることができる。

(池田, 中奥 篤)

3-418. ホール発電器を利用した 電子自動平衡式実効値, 有効 電力測定変換器

G. Rehm: Selbsttätige elektronische Effektivwert- und Wirkleistungs-Meßumformer mit Hall-Generatoren. [Arch. tech. Messen, Lief. 290, März, 1960, S. 61~64]

ホール発電器を利用して交流電流の実効値または有効電力を直流に変換する方法について述べられている。ここで採用されている原理は、比較法である。すなわち 1 個のホール発電器に直流と交流とを同時に印加し、おのおの成分に起因する互に逆向きのホール起電力を自動的に平衡させようというもので、半導体中で電子的に平衡させるものと解釈できる。したがって温度の影響やその他の特性変化による誤差は非常に少ない。



第 1 図 自動交流測定
変換器の回路図

第 1 図に交流電流実効値と直流を自動平衡させる場合の例を示す。交流電流は端子 1, 2 間にはいるが、チョークコイル D によってさえぎられ直流側には流れない。また直流は端子 3, 4 間に印加されるが、交流回路にはコンデンサのため流れることはない。このようにしてホール発電器素子 H 中で直流が重ね合わされる。まず直流成分に対するホール起電力は I_- と F_2 磁界の強さの積に比例し、すなわち I_-^2 に比例し、また交流成分に対するホール起電力は同様に $I_m^2 \sin^2 \omega t$ に比例する。したがって検流計 G はおのおのの差

$$I_-^2 - I_m^2 \sin^2 \omega t = I_-^2 - \frac{1}{2} I_m^2 + \frac{1}{2} I_m^2 \cos 2\omega t$$

を検出することになる。これが零になるように自動平衡すれば $(\cos 2\omega t)$ 成分は検流計の慣性のため消える)

$$I_-^2 - \frac{1}{2} I_m^2 = 0 \quad \text{ゆえに} \quad I_- = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

となる。自動平衡は、検流計からの反射光を感光抵抗体 $Ph-W$ で受けトランジスタで増幅し、直流側を制御して行われる。精度は、検流計として 10^{-8} A/deg の感度のものを使用し 25~250 mA の測定範囲で 0.2~0.5% であった。周波数範囲は 20 c/s~2 kc である。鉄心を除いて空心コイルにしたり、補償コイルなどを設けてもっと精度を上げることができると著者はいっている。

(池田, 楠井 昭二)

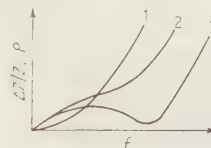
3-419. 同軸線路の不連続を補償 した場合の反射係数曲線と 最適補償寸法の決定

A. Kraus: Reflection Coefficient Curves of Compensated Discontinuities on Coaxial Lines and the Determination of the Optimum Dimensions. [Brit. Instn Radio Engrs, Vol. 20, No. 2, Feb., 1960, p. 137~152]

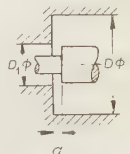
同軸線路の不連続は線路の断面または誘電率の変化によるが、本論文では同軸線路の (a) 垂直変換, (b) テーパ変換, (c) 誘電体支持物, についてその不連続を補償した場合の反射係数曲線ならびに最適補償寸法を実験的に求めている。

このような設計の基礎となる特性曲線を求めるには高い精度の実験方法が要求される。ここでは線路を 4 端子回路で表わし、小さな反射係数の測定に適する波節変化法 (Node-shift method) を用い、0.2% 以内の測定精度で反射係数を測定している。

反射係数曲線は、線路の不連続を補償するための線路の寸法により著しく影響される。その度合を第 1 図の 3 本の曲線に分類している。これより、低い周波数



第 1 図

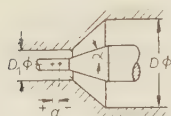


第 2 図

に対する補償は 1 の形がよいが、高い周波数では 3 の形のほうがよい。実際に求められている曲線は種々の寸法の線路に利用できるように、線路の外径で規格化されている。

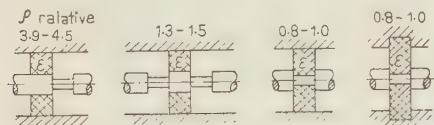
(a) 垂直変換(第 2 図) 反射係数曲線が a/b をパラメータにして種々の D/D_1 に対して求められている。この場合、 D/D_1 が小さい場合 ($D/D_1=1.34$) と中程度の場合 ($D/D_1=3.71$) には曲線は 3 の形になり、 $D/D_1=5.48$ 程度の大きな値で 1 の形になる。また最適補償寸法が特性インピーダンスをパラメータにして示されている。この場合特性インピーダンスが 60 Ω のとき a は最大になる。

(b) テーパ変換(第 3 図) 特性インピーダン



第 3 図

ている。このうち第 4 図の右から 2 番目に示すような支持方式がもっとも反射係数の広がりがない。



第 4 図

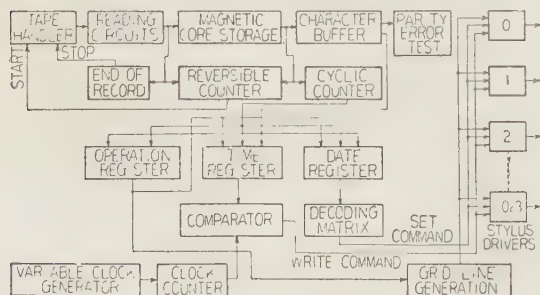
(北村, 館野 博)

3.420. 遠隔測定データの 高速プロットング

Robert L. Sapirstein: High-Speed Plotting of Telemetry Data. [Electronics, Vol. 33, No. 2, Jan. 8, 1960, p. 41~43]

数データを最終曲線またはプロットに高速変換することはデータ変換の終点である。遠隔計測データテープをうけて早見の曲線報告にする間の所要時間を減少する努力がなされた。本方式では要求事項として、高速プロットの程度、磁気テープ装置で IBM または Sperry rand univac 計算機のいずれから入力テープがくると、X-Y 座標または計算機テープでプログラムされるグリッド方式、スケールは自動的に決定されることなどである。

プロットの程度は多針、可動紙記録計 (100 kc 計算機形回路) を用いることで 4,000 点/s, 同時に 40 曲線が得られる。第 1 図はプロット系の構成図である。上の列で、テープからの読取り情報が磁心記憶ユニットに貯えられる。緩衝器は読みもとと読み出し特性をそろえるためにある。読みもとと読み出しは交互に高速に行う。時間コードはすべての組み合わせたデータが針駆動部を連続してセットするまで時間計量器に貯えられる。各針



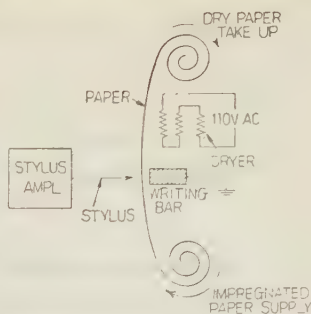
第 1 図

駆動部はフリップフロップ記憶と記入電流の増幅器をもっている。記入は 0.01 in 間隔で可動紙上に行う。紙の送り速度は 1 in/s である。第 2 図に電解記録部の機構を示す。

可変時計発電機は 100 kc 水晶制

御時計から 100 c/s を得ている。時計計数器と時間計量器とが正確に一致したとき印字指令が与えられる。新しいコードが一つの増加で生じたなら 0.01 s 内に次の時間比較がされる。

(池 田)



第 2 図

3.421. ドイツのコンデンサ形 計器用変圧器

H. Kahnt: Kapazitive Spannungswandler. [Elektrotech. Z. (E.T.Z.)-B, 11. Jahrg., Heft 12, 21. Dez., 1959, S. 476~479]

原理、構造と種類、特性を述べているが周知のとおりである。

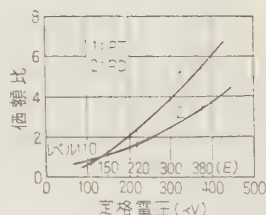
計器用変成器に対する VDE 規格 0414 は 1956 年 7 月に PD に対する特殊事項を規程した。主コンデンサはコンデンサ規格 VDE 0560 3 章の高圧試験と損失角試験を行う。測定部の試験電圧はその定格電圧に相当するシリーズを適用する。一次、二次側の巻線試験電圧は PT の 2 kV に対応して 4 kV になる。周波数および温度の影響が規格され、 $\Delta f = \pm 1.5\%$ で VDE 0414 パラグラフ 15 d が許される。そして最悪全影響を総合したとき階級限度を最高 30% 超過する。0.5 級の PD は定格 150~200 VA になっている。

PD の価格は第 1 図に示すように電圧の高いほど PD にくらべ有利となり、110 kV ではほぼ似てこれ

以上は PD が安価である。というのは PD では変成装置は電圧に関係なく一定であり、主コンデンサは電圧にはほぼ比例するが、PT では絶縁の関係上電圧に対し比例以上に価額が増大する。

PD の特長をあげたのち、欠点としては PT のような長年の使用経験に乏しいことにあるといっている。

(池 田)



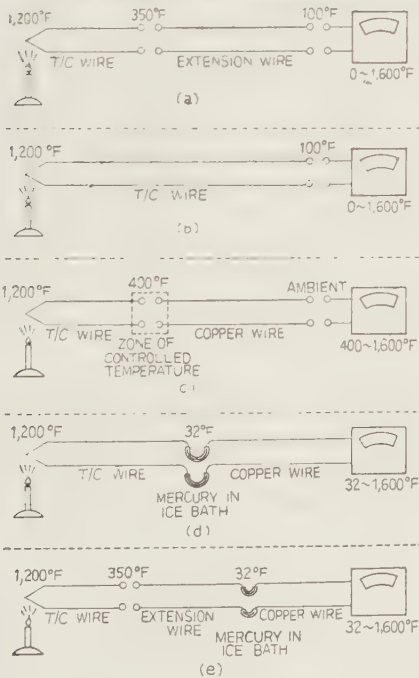
第 1 図 PD と PT の
定格電圧と価額の関係

3-422. 温度測定特集

- (I) V.G. Shaw: High Temperature Measurement.
 (II) D. L. Burk: The Ratio Pyrometer.
 (III) W. K. Moen: Surface Temperature Measurement.
 (IV) D. Kelly: Thermocouple Temperature Measurement Without Special Instruments.
 (V) R. J. Almond: Errors in Thermocouple Circuits.
 (VI) R. I. Schiff: Thermistors.
 (VII) R. M. Atkins: Temperature Measurement with Thermistors.
 (VIII) J. F. Carlson: Low-Temperature Characteristics of Chromel-Alumel Thermocouples.

[Instrum. Cont. Syst., Vol. 33, No. 1, Jan., 1960, (I) p. 58~61, (II) p. 64~67, (III) p. 70~73, (IV) p. 76~77, (V) p. 80~82, (VI) p. 83, (VII) p. 86~88, (VIII) p. 90]

Shaw は高温測定器がしばしば間違った理解と不適当に利用されるとして、熱電温度計、放射温度計、光高温計、2色温度計の4種の特長欠点をあげ、適当な利用につき解説している。Burk は Shawmeter の原理、評価につき述べ、Moen は熱電対で 1,600°F の静表面温度測定にあたり生じる誤差の原因と大きさお



第 1 図

第 1 表

Alternatives	System	Thermo-couple		Extension		Controlled	Inst.	Total
		Wire		Wire		Ref. Temp.		
		Hot End	Cold End	T/C End	Instr. End			
Original	A	9	4	4	4	—	4	25
1 (a)	"	4.5	2	"	"	—	"	18.5
1 (b)	"	"	"	2	2	—	"	14.5
2 (a)	B	9	4	—	—	—	"	17
2 (b)	"	4.5	2	—	—	—	"	10.5
3 (a)	C	9	4	—	—	2	2	17
3 (b)	"	4.5	2	—	—	2	"	10.5
4 (a)	D	9	—	—	—	0	4	13
4 (b)	"	4 ¹ / ₂	—	—	—	"	"	8.5
5 (a)	E	9	4	4	—	—	"	21
5 (b)	"	4 ¹ / ₂	2	2	—	0	"	12.5
6	A	2	1	1	1	—	"	9
7 (a)	D	"	—	—	—	0	"	6
7 (b)	"	"	—	—	—	"	2	4
7 (c)	"	—	—	—	—	"	—	2
8 (a)	A	9	0	0	4	—	4	17
8 (b)	"	4.5	"	"	2	—	"	10.5

よび処置について述べている。Kelly は 5~10% の確度を得られる熱電対を使う安価で感度のよい配電盤計器を紹介している。

Almond は熱電対を保証するにあたり、誤解の大きな原因となる熱電対回路の設計にしばしば見られる主要誤差をあげている。誤差は接続線、計器を含め異金属間の結合が 32°F でないとき熱電対回路に積算されることになる。確度を上げる処置として第 1 図のように (a)~(e) がある。その誤差を第 1 表に示し、基本系の最大誤差は上列のように 25°F である。第 1 図 (a) では熱電対線の許容差 1/2 のものとし、第 1 図 (b) ではさらに補償巻線を 1/2 とした場合である。第 2 図は熱電対をチェックしているところの写真である。



第 2 図

Carlson は目盛さだめした白金抵抗温度計を基準としてクロメルアルメル熱電対の低温特性 (−320~+15°F) を求め、NBS の値と比較し 0.02 mV 程度で合っていることを示している。(池田)

3・423. 2,800°C までの温度測定に適する2種類の熱電対

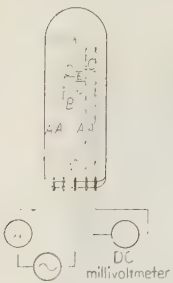
D. A. Davies : Two Thermocouples Suitable for Measurement of Temperatures up to 2,800°C. [J. sci. Instrum., Vol. 37, No. 1, Jan., 1960, p. 15~17]

高温度測定に熱電対を使用する場合、現在の顕著な障害は 2,000°C 以上において大きな熱電能を与える安定な熱電対が不足することである。高温度における熱電対素線の材料は溶融点が高く、蒸気圧が低いものを用い、種々のふんい気において安定でなければならない。

熱電対の使用温度限界は材料の蒸発の消耗によって左右される。この点においてもっとも低い蒸気圧ともっとも高い溶融点をもつタングステン (3,380°C)、レニウム (3,167°C) とタンタル (3,000°C) が適当である。レニウムは線にすることが困難であるが、レニウムとタングステンの合金は線引きが容易であるということが Grach と Hughes によって示されている。タングステンとレニウム 26% 合金を線引して、タングステンとタンタルにそれぞれ組み合わせた2組の熱電対の熱起電力特性が述べられている。

最初に準備した熱電対は、同じ直径のタングステン線に 125 μ 26% レニウムタングステン合金線を点溶接したもので構成されている。この接点は溶接時におけるタングステンの再結晶のためにもろくなるから、注意深い取り扱いを要する。熱電対は白金炉の中に保持した標準の Pt-13% Rh-Pt 熱電対との比較によって、水素ふんい気中で 1,300°C まで校正された。1,200~2,800°C の範囲で熱電対の起電力を決めるために次の方法を用いた。

第1図の 125 μ タングステン線条 B は正確に決めた温度の高温度源を備え、熱接点 E は線条に取り付けた 30 μ レニウムタングステン合金線 D からできている。二つの 30 μ タングステン線 C もまた接点 E から 3 mm の距離に取り付けた。線条 B とリード線 C はステム A に取り付けてガラス球に入れ、高真空度にして封入した。125 μ タングステン線条は交流で加熱してその線条温度は光高温計によって決められた。線条温度のチェックは線条電流 I と線径 d を測ることによっても得られる。 $I/d^{3/2}$ は温度の関数だけでその値は広い温度範囲に対して正確に知られている。起電力は 500°C 以上では Pt-13% Rh-Pt 熱電対より比較的高く、2,800°C において 43 mV になる。



第1図

高真空度にして封入した。125 μ タングステン線条は交流で加熱してその線条温度は光高温計によって決められた。線条温度のチェックは線条電流 I と線径 d を測ることによっても得られる。 $I/d^{3/2}$ は温度の関数だけでその値は広い温度範囲に対して正確に知られている。起電力は 500°C 以上では Pt-13% Rh-Pt 熱電対より比較的高く、2,800°C において 43 mV になる。

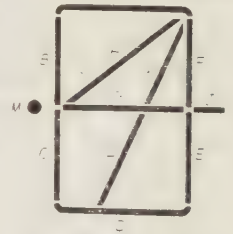
タンタル/26% レニウムタングステンの組み合わせの起電力もまた同様な方法で決めた。起電力は 1,000°C 以下は反転するが、1,000°C 以上における熱電能はかなり大きく、2,500°C において 18 mV になる。またタングステンあるいはタンタルのいずれかと組み合わせて熱電対素線として用いることができる。また真空、水素、窒素、アルゴンあるいは不活性ふんい気中の使用に対して適当であるだろう。また 2,750°K で 1 h 使用したが熱起電力に変化はなかった。

(池田, 洋見敏夫)

3・424. 炭化けい素符号化マトリクスを使用したエレクトロルミネセンス数字表示器

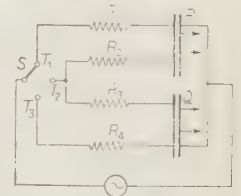
D. H. Mash : An Electroluminescent Digital Indicator with a Silicon Carbide Coding Matrix. [J. sci. Instrum., Vol. 37, No. 2, Feb., 1960, p. 47~50]

板状電界発光体(普通, ZnS を Cu で活性化したものが多い)をサンドイッチ状に二つの電極ではさむ, すなわち前面電極としては酸化すずの薄膜よりなる透明電極を使用し, 裏面電極としては第1図に示すような十数本の電極を用い適当に選択, 組み合わせて, 500V, 400 c/s 程度の電圧をかけることにより, 0~9 の数字を発光表示することができる。ところでこの $A, B \cdots M$ の電極を継電器などで選択, 組み合わせるとなると, その組み合わせ数が多いため相当複雑な継電器回路となり, スペースもそれだけかさばる。本論文にはこの欠点を除く方法として, 炭化けい素の非直線抵抗を利用し, 各数字を表示するのに必要な電極組み合わせをそれぞれ1個のスイッチで選択しようという新しい方法が述べられている。



第1図 数字電極

第2図は2本の電極の場合の原理を示す。スイッチ S を T_1, T_2, T_3 に切り換えてそれぞれ電極 P, P と Q, Q の三とおりを選ぶとする。いま $R_1=R_2=R_3=R_4=Z_P=Z_Q$ (Z は発光体のインピーダンス) とすると, S を T_1 に切り換えて P 極だけに電圧を加えたつもりでも R_2 と R_3 によって Q 極にもほぼ $1/3$ の電圧が加わり, 若干発光し不明りょうの原因になる。そこで $R_1 \sim R_4$ の抵抗として炭化けい素非直線抵抗を使用した場合を考えると, R_2, R_3 は R_1 にくらべ非常に高



第2図 符号化マトリクスの原理

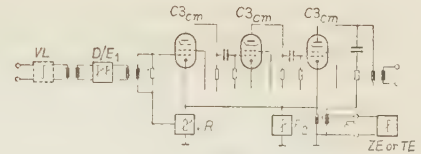
抵抗値を示す。(非直線抵抗は印加電圧の n 乗に逆比例する)したがって Q にかかる電圧は無視できるほど小さく発光しないことになる。 S を T_3 に切り換えた場合も同様のことが成立し、 P への影響は非常に少ない。実際には、電極数は第1図のように $A, B, \dots M$ の十数本で、数字0~9と小数点合計11の切り換えを行うが、これをベークライト板にプリントされたマトリクス配線で行う。同時にのり状炭化けい素をプリント板にコーティングし、必要なマトリクス交点の抵抗接続を形成させる。このプリント板を表示器の裏側に付け、全体として小形で薄いものができる。消費電力は小さく、電極1個あたり $75 \mu A$ で数字8に対しては $525 \mu A$ 消費される。寿命は750hぐらいで6割の発光強度に減少すると報告されている。(池田, 楠井 昭二)

3.425. ケーブル搬送方式の等化調整ならびに監視測定装置

M. Bidlingmaier, et al.: Mess- und Einstellverfahren bei der Entzerrung und Überwachung von Trägerfrequenzsystemen auf symmetrischen Kabelleitungen. [Nachrichtentechnische Zeitschrift (NTZ), 13. Jahrg., Heft 1, Jan., 1960, S. 34~41]

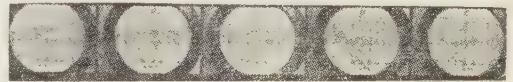
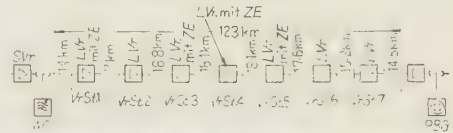
本論文はドイツにおける無装荷ケーブル60通話路、120通話路(V-60およびV-120)方式に関するものである。

伝送路における損失変動の第一の要因は温度変化によるもので、第1図(a)は線路損特性、(b)図は温度による変化を示す。線路増幅器ならびにその等化器の例を第2図に示す。線路損の等化は主として線路増幅器における帰還回路 E_2 によって行い、帰還回路で不足する分は擬似線路網 VL および補助等化器 ZE で行う。有人局中継器においては $\pm 0.1 N$ 、無人局中継器では $\pm 0.2 N$ に調整される。長距離になるにしたがい、線路の減衰特性と中継器の特性との間のずれが累積するから、40~80 kmごとに ZE により残留偏差を等化する。温度に対する補正等化もこの際行われ、 $0 \sim 20^\circ C$ におけるケーブルの減衰変化に対し TE により補償する。150~200 kmごとにさらに累積した



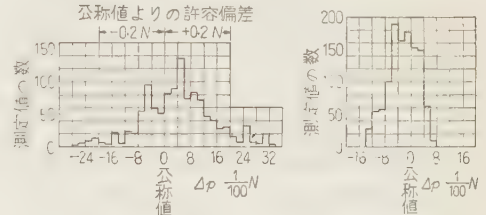
E_1 : 前置等化器, E_2 : 帰還回路の中の等化器, ZE : 付加等化器, VL : 区間補償線路, VR : 利得調整器, TE : 温度等化器, D : 減衰器

第2図 S.H.社のV 120線路増幅器の原理図



(a) ZE なしの全回線, (b) 中継局1の ZE による変化, (c) 中継局3の ZE による変化, (d) 中継局6の ZE による変化, (e) 中継局5の ZE による変化

第3図 レベル直視装置による中継路の等化, レベル直視装置で監視される残留減衰量の周波数特性(等化の前と後)

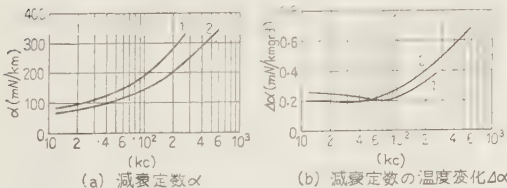


(a) 群制御増幅器の前 (b) 群制御増幅器の後
パリー・フランクフルト(マイン)間, フランクフルトで記録

第4図 84.08 kcの群パイロットレベルの絶対値のひん度

残留偏差を補償する補助等化器を使用する。これら線路損の等化度調整に際しては、等化度直視装置を使用するのが便利である。(第3図)

回路の残留損の変動はCCITTにおいて $\pm 0.2 N$ 以下と規定しているが、600 kmにわたる回線についての長期間観測の結果はほぼ正規分布にしたがうことがわかった。(第4図)したがってある監視期間内に $0.2 N$ の許容偏差の0.1%以内であるように調整する。この調整は超群・群の順序に超群パイロット(411.92または411.86 kc, 群パイロット 84.05または84.14 kc)が使用され、このパイロットは監視の用を兼ねる。群調整は40個群に1個のパイロット受信装置があり、5s間隔で各群パイロットレベルが監視され、必要の場合には調整され、 $\pm 0.3 N$ 以上のレベル変動に対しては警報を発する。超群についても同様であ



曲線1: 星形 1.2 mm 紙絶縁ケーブル
曲線2: 星形 1.3 mm スチロフレックス
絶縁ケーブル

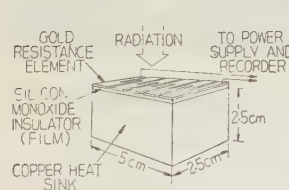
第1図 V 60およびV 120方式用無装荷線路の減衰量 α

る。また 253 kc のパイロット（線路パイロット）を利用して連続監視し、高速度記録器を用い、10 ms 程度の短期間のレベル変動も記録・監視し、同線の状況をはあくすることができる。（沢田，飯島英雄）

3-426. 高速度ボロメータ

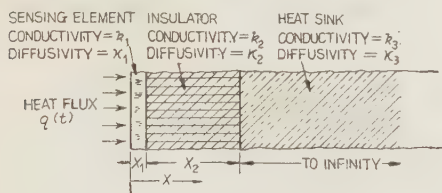
H. E. Stubbs & R. G. Phillips: High-Speed Bolometer. [Rev. sci. Instrum., Vol. 31, No. 2, Feb., 1960, p. 115~118]

このボロメータは核火球（Nuclear fireballs）からの全放射を測定する目的に作られたもので、従来のボロメータより感度は低くても応答時間が短く、紫外から赤外まで広範囲の分光感度を持ち、強堅であることが要求される。そのため構造は第1図に示すように、金黒化された金の薄膜状受熱素子と銅のブロックと両者を隔離する SiO



第 1 図

浄にしてその上に真空蒸着により SiO₂ の誘電体膜をつくるが、絶縁破壊の原因をなすピンホールができないように銅表面のごみをなくし、誘電体膜を数回付着し 5×10^{-4} cm の厚みにする。その上に金の薄膜を 10^{-5} cm の厚みに真空蒸着し、リード線はせず、鉛、インジウムの接合物で接続すると機械的に強い。これら全体は、石英窓付密閉したアルミケースに納められる。



第 2 図

ボロメータの特性の解析が半無限体へ熱が侵入する場合のよく知られた解を使って行われているが、第2図のように各層の記号を定め、応答時間を飽和値のほぼ 0.9 に達する時間とすると、高周波の応答時間 τ_1 は

$$\tau_1 = x_2^2 / K_2$$

その次に銅ブロックの有限の熱容量による零位浮動があり、その温度上昇が熱絶縁層の両側の温度差に等しくなるときの時間 τ_2 を低周波応答時間とすると、

$$\frac{2}{\pi^{1/2}} \frac{F}{k_3} (\kappa_3 \tau_2)^{1/2} = \frac{F R_2}{K_2}$$

$$\tau_1 = \frac{\pi}{4} \left(\frac{k_1}{k_2} \right)^2 \frac{x_2^4}{k_3}$$

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{\pi k_3^3 / \kappa_3}{4 k_2^2 / \kappa_2}$$

τ_2 / τ_1 の比ができるだけ大きいほうがよく、 k^2 / κ の値の大きい銅が適材である。

$$\tau_1 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ s}, \quad \tau_2 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

$$\text{応答感度 } T_1 - T_2 / F = 0.2^\circ \text{C cm}^2 \text{ cal}^{-1} \text{ s.}$$

（池田，佐土根篤次）

3-427. 市販陰極線管の陰極温度測定技術

P. P. Coppola: Techniques Cathode Temperature Measurements as Applied to Commercial Cathode-Ray Tubes. [Rev. sci. Instrum., Vol. 31, No. 2, Feb., 1960, p. 137~143]

陰極線管において、酸化物陰極の動作温度は電子ビームの電流特性ひいては管の寿命に大きく影響する。このため陰極温度を制御し、かつ常に十分な精度で測定することが必要である。

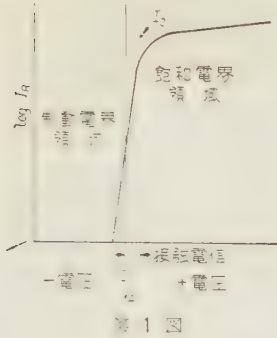
陰極線管の陰極は実際には外部から見ることでもできず、かつガラス球内に封入されているので、陰極よりの可視放射を利用して温度を測定したり、また温度計をそう入したりすることもできないので、実際の温度測定には、後述の制動電圧法（電子温度法）と称する方法が採用される。

この測定精度を確かめるため、陰極線管に熱電対をそう入し、これを陰極に溶接した試料を作成し、熱電対による温度と制動電圧法による温度測定値を比較した。さらに外部から陰極よりの放射が見えるような構造の試料を作成して、線条消失形の顕微光高温計と制動電圧法の値も比較しその精度を検討した。この際熱電対の溶接部の接合状態や熱電対線の熱伝導による温度低下の誤差の補正を行い、また光高温計による陰極温度測定値に対しては、その発散率による補正を加えて、それぞれ真温度を推定する必要がある。本報で

第 1 表

Tube No.	熱電対による真温度 (°C)	光高温計によるニッケルの真温度 (°C)	制動電圧法による真温度 (°C)
Cathode-ray tubes			
L 2 I I B	294		302
	350		367
	406		411
	446		447
	544		540
	607		619
	841		840
L 10 I 3 B	860		861
L 10 I 6 B	837		850
L 10 I 1 J	845		845
L 19 I 4 J	860		896
C 0616 A 055		840	844
C 0616 A 200		844	861

はそれらを求めるための方法や装置についても若干述べられている。



第 1 図

$$I_R = I \exp[-cV_A/kT]$$

ゆえに直線上の任意の 2 点において、印加電圧と陽極電流をそれぞれ V_{A1} , I_{R1} ; V_{A2} , I_{R2} とすると、陰極温度は次式で推定される。

$$T = 5,040 \left[\frac{V_{A1} - V_{A2}}{\log(I_{R2}/I_{R1})} \right]$$

原報には、測定回路、測定を理想化された平行二極管の状態に近似させるために磁界を印加する操作、測定上の注意が述べられている。

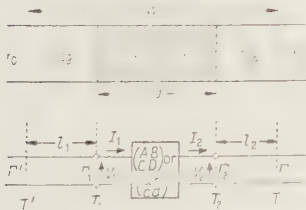
数本の試料陰極線管について各方法で比較した結果を第 1 表に示す。1 本の試料を除いては、制動電圧法は補正された熱電対温度および光高温計温度にかなりよく一致する。

(池田, 納谷嘉信)

3.428. マイクロ波における誘電率 の図式測定法

Charles B. Sharpe: A Graphical Method for Measuring Dielectric Constants at Microwave Frequencies. [Trans. Inst. Radio Engrs, Vol. MTT-8 No. 2, March, 1960, p. 155~159]

マイクロ波における物質の複素誘電率を求めるに際し Oliner および Altschuler によって提案された方法に基づき直接的に、かつ最少の計算で誘電定数を図式的に求める方法を述べている。



第 1 図 導波管内誘電体
とその等価回路

用いて次式の関係が得られる。

$$\Gamma_1 = \frac{a\Gamma_2 + b}{c\Gamma_2 + d}$$

空導波管、誘電体そう入導波管各部の波動アドミタンスをそれぞれ Y_0 , Y とおき誘電体中の伝搬定数を

$\gamma = \alpha + j\beta$ とすると Y/Y_0 と、パラメータ (a, b, c, d) の間の代数関係は次のようになる。

$$\Gamma_E = \frac{a-d}{2c} - \frac{1 + (Y/Y_0)^2}{1 - (Y/Y_0)^2}$$

Γ_E はイメージ円図に基づく簡単な一連の幾何作図によってきめることができ、複素誘電率は使用状態によりそれぞれ次式から得られる。

$$\epsilon/\epsilon_0 = (Y/Y_0)^2 \quad \text{TEM modes}$$

$$\epsilon/\epsilon_0 = \frac{(Y/Y_0)^2 + (\lambda_{0g}/\lambda_0)^2}{1 + (\lambda_{0g}/\lambda_0)^2} \quad \text{H modes}$$

さらに TEM 姿態の場合は必要な複素誘電率はミスチャートを用いて直接純図式的に求め得ることをも示している。

誘電体の $\tan\delta$ が比較的小さいときは図式的な方法では ϵ'' の決定に誤差を伴うので、独立に ϵ'' を決めるのがよく、 ρ を反射係数面の原点からイメージ円の中心までの距離、 R をイメージ円の半径とすると次式の関係が得られる。

$$2\alpha d = \ln \left[\frac{\sqrt{(1+R)^2 - \rho^2} + \sqrt{(1-R)^2 - \rho^2}}{\sqrt{(1+R)^2 - \rho^2} - \sqrt{(1-R)^2 - \rho^2}} \right]$$

したがって ϵ'' は λ を自由空間波長とすると、各姿態により次式から求めることができる。

$$\epsilon'' = 2 \left(\frac{\alpha\lambda}{2\pi} \right)^2 \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi}{\alpha\lambda} \right)^2 \epsilon'} \quad \text{TEM modes}$$

$$\epsilon'' \approx \frac{\alpha\lambda_{0g} \sqrt{[1 + (\lambda_{0g}/\lambda_0)^2] \epsilon' - (\lambda_{0g}/\lambda_0)^2}}{\pi [1 + (\lambda_{0g}/\lambda_0)^2]} \quad \text{H modes}$$

$$\text{ただし } \epsilon'' \ll \epsilon' - \frac{1}{1 + (\lambda_0/\lambda_{0g})^2}$$

[中島(達), 山中英夫]

4.429. 計算機の記憶装置としての 高密度ファイルドラム

Lorin Knight & Martin P. Circuit: A High-Density File Drum as a Computer Store. [Brit. Instn. Radio Engrs, Vol. 20, No. 1, Jan., 1960, p. 41~45]

本論文では大容量高密度の磁気ドラムについて述べている。その容量は 1,500 万 bit, 平均待ち時間 200 ms ドラム本体の直径 15 in, 高さは 14 in で、回転数は 180 rpm であり、記憶密度は 1 in あたり 1,000 bit 以上、全実装トラック数は 320 である。

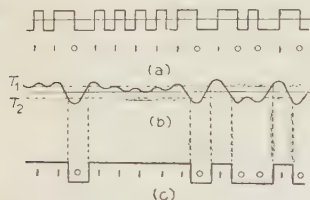
このドラムでは油膜の上にヘッドを乗せることによって、自動的にヘッドとドラムのギャップが 5μ に保たれ、高い書き込み密度が得られた。油に対するヘッドの迎え角と、ヘッド、ドラム間のギャップは、ヘッドの形状、ピボットの位置とそれを押す力、油の速さ、ドラムとヘッドの相対速度などによって決まるが、これらの正確な値は経験的に決定された。この状態を第 1 図(a)(b)に示す。



(a): 静止中のドラム
(b): 回転中のドラムの油膜の状況を示す

第 1 図

普通の酸化鉄粉のコーティングでは摩擦に耐えないので、もっと耐摩性のある磁性材料として Cunife I を使用した。これは銅、ニッケル、鉄の合金で、充分機械加工性がある高い抗磁性体である。ヘッドコアはフェライトである。第 1 図 (a) に示すようにギャップ近辺の重要な部分は起動時の損耗を逃がっている。



(a) 書き込み電流波形
(b) (a) の書き込みによる読取り電圧波形
(c) Eccles-Jordan トリガ回路から得られた波形

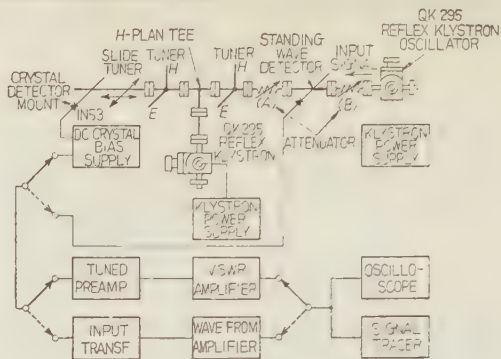
第 2 図

記録は位相変調の NRZ 法によって行われ、その書き込み波形を第 2 図 (a) に示す。1 と 0 の連続くり返しは 75 kc の方形波に相当し、1 の連続あるいは 0 の連続は 150 kc の方形波に相当する。読取り波形を第 2 図 (b) に示す。この信号が増幅されて Eccles Jordan トリガ回路の入力に使用される。このトリガは信号電圧が正方向のスレッシュホルド T_1 を通過したときはいつでもスイッチ ON され、負方向のスレッシュホルド T_2 を通過したときにスイッチ OFF される。この T_1, T_2 の電圧は自分の信号のピーク電圧から得られる。トリガ回路からの出力波形は第 2 図 (c) に示されるとおりである。読取り波形はクロックトラックによるマスタクロックによらず、自己クロックによる。すなわち第 2 図 (c) の波形で各磁性変換点はクロックパルスのはじまりであり、極性の変化のない継続的な 1 あるいは 0 の連続においてはこのようにして作り出されたクロックパルスがそう入される。情報は 6 個以上の 1 あるいは 0 が連続しないようにアレンジされているので、この作り出されたクロックパルスはドラムから読み出される信号と同期がひどくはずれることはない。(豊田, 和才 誠)

4.430. 反射クライストロンを用いたミリ波増幅器

Koryu Ishii: Using Reflex Klystrons as Millimeter-Wave Amplifiers. [Electronics, Vol. 33, No. 12, March 18, 1960, p. 71~73]

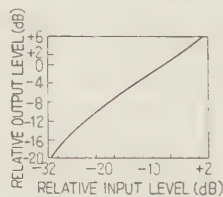
反射クライストロンは、出力回路のインピーダンス



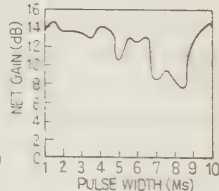
第 1 図

を調整することにより再生増幅器として使用できる。この実験はすでに X-バンドで行われ、好結果が得られている。本論文は反射クライストロン QK-295 を用いた 60 Gc 帯の受信用増幅器について述べてある。実験回路は第 1 図に示すもので、増幅管は H 分岐に接続され、この出力インピーダンスの調整は H 分岐の両端にそう入した EH チューナで行っている。入力信号は方形波またはパルスで振幅変調してある。利得はクリスタルマウントを直接 Attenuator (A) の出力側に接続したときとの比で表わしている。

1 kc の方形波で変調した 58 Gc の信号に対し、リペラおよび空胴の電圧をおのおの単独に変化したときの最大利得はいずれも 10 dB であった。また、グリッド電圧および空胴のダイヤルを変えた場合には、それぞれ 11 dB と 12.5 dB となった。さらに高利得を得るためには各電極の電圧、空胴のダイヤルおよび



第 2 図



第 3 図

EH チューナなどを調整すればよい。リペラとグリッドの電圧を一定にし、空胴電圧の個々の値に対しそれぞれ空胴のダイヤルと EH チューナを調整した結果、空胴電圧変化の広い範囲にわたって最大利得 16 dB が得られた。EH チューナはきわめて重要で、全く用いない場合の最大利得はわずか 1.5 dB であった。この増幅器の直線性は第 2 図に示すように良好である。EH チューナを含む増幅部のそう入損は 3 dB であった。

1~10 μ s のパルス変調波に対する増幅特性は第 3 図に示すとおりで、短いパルスに対しても利得の減少はみられなかった。

(池沢, 藤井 合)

4・431. 合金形トランジスタの 自動製造装置

T. J. Leach: Automated Assembly of Alloy-Junction Transistors. [Electronics, Vol. 33, No. 13, March 25, 1960, p. 57~61]

全自動化された装置による合金形 Ge トランジスタの製法について述べている。

製造工程は第1図に示すとおりで、組立はすべて回転台の上で行い、コンベヤでその間を連絡している。材料として、エミッタ、コレクタ用金属板、Ge 板、ベース用ワッシャ、マウント用基板および細線をあらかじめ用意する。また組立治具として、グラファイトポートおよび合金する位置を正確に決めるためにグラファイトプラグを使用する。

組立不良のものを以下の工程へ送ることは、貴重な材料の損失となるので、速やかに取り除かなくてはならない。そのために3種の監視装置を備えている。第1は各回転台の正しい位置に材料および治具があることを確かめる光源-光電管装置で全体で50個ある。第2はグラファイトポートへ材料のそ入が不完全であれば、その上にのせるグラファイトプラグの高さが高くなる。ゆえにこの材料そ入の状態を知るためリミットスイッチが用いられている。第3は真空吸い上げプローブでベースワッシャをその留りより吸い上げ、グラファイトポートにそ入する。その際プローブ中にワッシャがはいっていることを確かめる検査器が付属している。

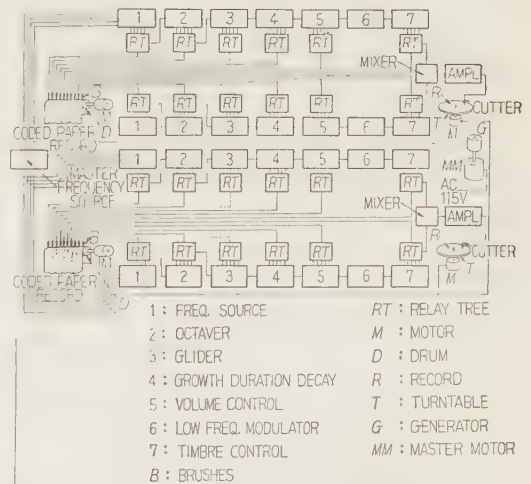
制御装置としては、(1) 各回転台の検査器により不良と認められたものをグラファイトポートとともに除くレジスタ、(2) 回転台の上が混雑すると、材料供給用コンベヤを停止させる過負荷防止装置、(3) 組み立てを終わったトランジスタをマウントに溶接する前に、ベースを接地し、エミッタ、コレクタに二つの電線を直列に入れ、両電流を検査する装置、以上の3種が使用されている。

図示した9工程(回転台6工程、炉2工程、溶接1工程)および上記の検査、制御装置を持つこの全自動装置により合金形 Ge トランジスタを所要時間9hで製作できると報告している。(北村, 小田 両司)

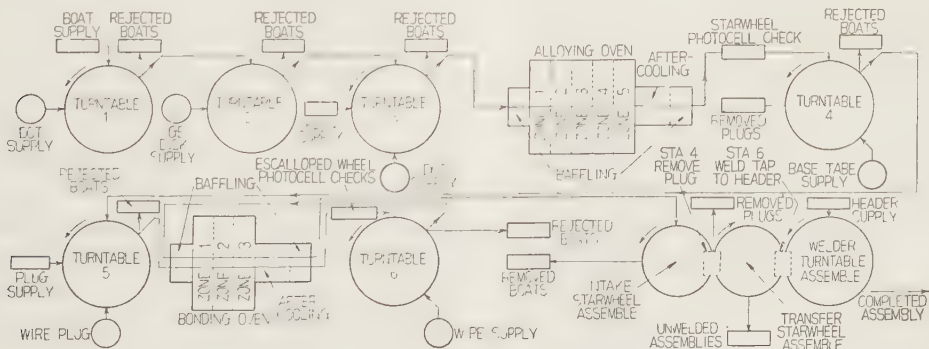
4・432. 電子音楽合成

H. F. Olson, et al.: Electronic Music Synthesis. [J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 32, No. 3, March, 1960, p. 311~319]

音楽の合成機として試作した Mark II についてその構造と合成法について述べた。合成機は第1図に示すような構成で、合成音楽をあらかじめさん孔紙に記録しておき、これによって主発振部出力を制御して任意の周波数、転調、エンベロープ(立上がり、立下がり、継続時間)、音量、ビブラート、音色をもつ音を作りこれを円盤上に録音する。制御回路は4チャンネルで、2チャンネルずつ混合して録音する。大編成の音楽では、楽器ごとに別々に合成しておいて、これらを同時に再生混合することにより合成することができる。



第1図



第1図

さん孔符号はすべて4単位で、したがって16種の選択が可能であり、これらは2進4段の継電器群によって行われる。

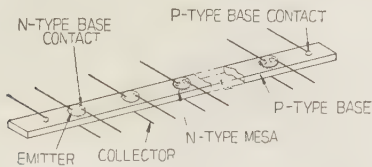
主発振部は $B_9 \sim C_9$ までの12の固定発振器とおのおのが12の可変発振器よりなる2組の発振器群および雑音発生器よりなり、平均率以外の音階にも使用できる。Octaverは周波数通減器で、これと主発振部出力周波数により $C_0 \sim B_9$ まで120種の周波数ののこぎり状波を選択することが可能となる。転調およびエンベロープ特性は、それぞれ16種の形式を与えることができる。音量も等デシベル間隔で16段階を選ぶことができる。また5~10サイクルのビブラートを変調器で付けることができる。音色は、高域および低域フィルタと共振系の組み合わせにより制御される。

最後にこの合成機による音楽の合成の実例を記し、この合成機が既存の音楽の合成だけでなく、作曲にも有効に使用できると述べている。(沢田、斎藤収三)

4.433. 複合電子装置の設計に対する考察

J.T. Wallmark: Design Considerations for Integrated Electronic Devices. [Proc. Inst. Radio Engrs, Vol. 48, No. 3, March, 1960, p. 293~300]

複合電子装置とは、多数個の部品を統合して一つの機能をもたせた複合部品で構成された装置で、個々の部品は分離することはできない。第1図はシフトレジスタの機能をもった複合部品の一例で、多数の2安定素子(Bistable stage)からできており、Stage間は半導体barで接続されている。複合装置の利点は、部品密度が大きく、($10^3 \sim 10^4$ 個/ cm^2) 目方が軽く、内部



第1図

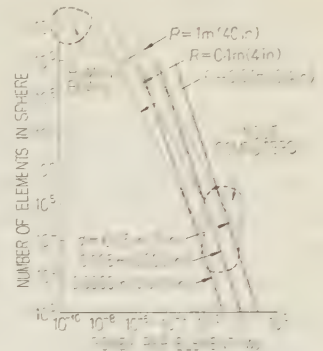
金属接続が少ないことであるが、一方、設計上いろいろの制限を受ける。そのおもなものは物理的な寸法の制限、温度による制限、製造時における収縮による制限などである。

独立部品を使った装置では、取り扱い上の制限から部品密度 10^2 個/ cm^2 以下にすることは望めないで、この解決策として部品を適当数グループにして取り扱いやすい寸法にすることが考えられた。複合装置はこの中位の個数のグループに属する。

部品密度はまた熱消費により制限を受ける。いま容積 d^3 なる同一素子からできた球体の半径を R 、各素子の電力を P 、その球体内の素子数を N とすると、

温度の制限から第2図に示すような関係が得られる。

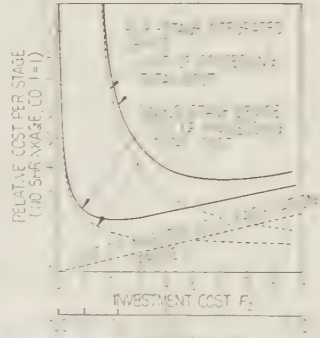
複合装置におけるもっとも困難な問題として、製造工程における収縮による制限につき述べてある。収縮



第2図

による不良ユニットは、単独ユニット組立ではそのユニットを棄てるだけですむが、複合装置ではグループ全部を棄てなければならぬので高価になる。したがって、収縮を相当小さくしないと経済的制限からStageの数あまりとれなくなる。第3図は単一Stage装置と5Stage装置について、この収縮をへらすための製造工程への投資価格に最適値のあることを示している。

最後にこの収縮の影響を軽減する方法として、予備Stageを設けて、製造過程において不良ステージをバイパスして使う方法が有利であることを述べている。(沢田、新藤真純)

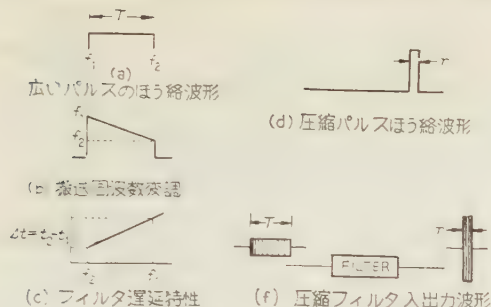


第3図

4.434. パルス圧縮——レーダ送信の高効率化への示唆

C. E. Cook: Pulse Compression—Key to More Efficient Radar Transmission. [Proc. Inst. Radio Engrs, Vol. 48, No. 3, March, 1960, p. 310~316]

レーダの通達距離をのぼすためには、送信電力を増す必要があるが、狭いパルスレーダの場合は、送信管の最大ピーク出力の限界のため、その送信管の平均出力に対する最大定格が充分活用されないことが多い。本論文は最大ピーク出力が限界に達しているパルス送信装置において、パルス幅を広げて平均送信出力を増加させ、[第1図(a)]同時に送信高周波パルスに直線掃引のFMをかけ[第1図(b)]受信に際しては、受信信号を周波数に対して遅延時間が直線的に変化するようなパルス圧縮フィルタ[第1図(c)]を通してパ



第 1 図 理想的なパルス圧縮特性

パルス圧縮をして、〔第 1 図 (d)〕レーダ 通達距離をのぼし、距離分解能をよくすることができることを報告している。

送信パルス幅と、直線掃引の FM の周波数偏移幅の積が大きいときは、信号スペクトルの振幅は周波数偏移幅内ではば一定で、位相は二次関数になる。また遅延時間が周波数に対して直線的に変化するフィルタの位相特性も周波数に対して二次関数である。この二つの位相特性がうまくつり合ったとすると、圧縮フィルタ出力のスペクトルは振幅は方形で、位相は平たんまたは直線状となる。これを時間軸に変換すると $\sin x/x$ の形のパルスが得られる。この信号スペクトルとフィルタの特性の関数は、North の Matched Filter の考えで取り扱うことができる。信号スペクトルを数式的に解析し、Matched Filter の形を導き出し、これより圧縮フィルタ出力の波形を算出すると、振幅は $\sin x/x$ で変化し、高周波は圧縮されたパルスの最初の零点の間で $2\frac{\Delta\omega}{T}$ だけ送信信号と逆向きの FM をうけていることがわかる。

圧縮フィルタは橋絡 T 形全域通過格子回路が考えられるが、実現はできない。しかし実用上近似のものは得られよう。

(中原、吉田 孝)

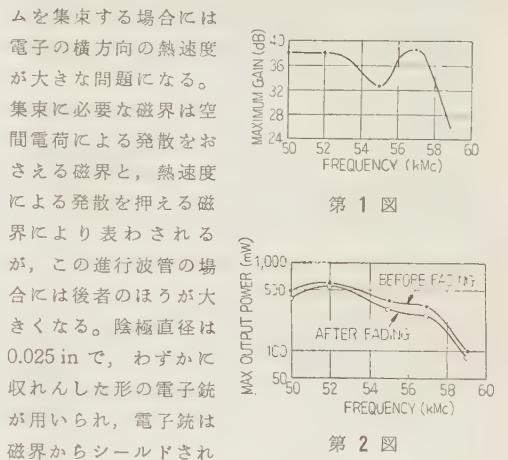
4.435. 5~6mm 帯用 0.5W 連続波進行波管

H. L. McDowell, W. E. Danielson & E. D. Reed: A Half-Watt CW Traveling-Wave Amplifier for the 5—6 Millimeter Band. [Proc. Inst. Radio Engrs, Vol. 48, No. 3, March, 1960, p. 321~328]

この進行波管は遅波回路としてら線を用いており、55,000 Mc を中心として 10,000 Mc の帯域にわたり 30 dB 以上の利得を得、この帯域で最高 0.5 W の連続波出力を得ている。ら線を用いた場合、周波数特性はよいが電力を大きくすることは困難である。しかし本進行波管ではら線の熱放散をよくすることにより、広帯域でしかもかなりの電力を得ることに成功している。ら線の寸法などは次のような値になっている。

$k_a=0.25$, $\gamma_a=1.5$ (55 kMc において), ら線内径=15 mils, ピッチ=110 turns per inch, ら線の長さ=4 in, 同期電圧=7,000 V, ビーム電流=3 mA, Gain parameter $C=0.015$

ら線は誘電体棒に Glazing により固定し、その誘電体棒を銅のブロックと広い面積で接触させて熱が逃げやすいようにしてある。ら線は主として電子流により熱せられるが、出力側の端では高周波電力によっても熱せられる。高周波による熱のため、ら線の減衰が多くなり、出力が低下しフェージングを起す。このフェージングのためステアタイト棒を用いたものの出力は 0.5 W に押えられてしまう。非常に細い電子ビームを集束する場合には



第 2 図

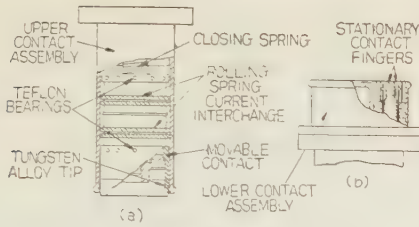
電子の横方向の熱速度が大きな問題になる。集束に必要な磁界は空間電荷による発散をおさえる磁界と、熱速度による発散を押える磁界により表わされるが、この進行波管の場合には後者のほうが大きくなる。陰極直径は 0.025 in で、わずかに収れんした形の電子銃が用いられ、電子銃は磁界からシールドされている。第 1 図および第 2 図はそれぞれ小信号利得および飽和出力を示し、いずれもビーム電流が 3 mA のときのデータである。この進行波管のために開発された技術を用いることにより、5~6 mm 帯で数ワットあるいは 150 kMc で 100 mW を得ることが可能であろうと述べている。

(池沢、綾木和雄)

5.436. 計算機用メモリー の雑音問題の解決法

A. H. Ashley & E. U. Cohler: Solving Noise Problems in Digital Computer Memories. [Electronics, Vol. 33, No. 13, March 25, 1960, p. 72~74]

一致電流法による磁心メモリーの読み出しにおいては、信号対雑音の電圧比が低いので、ストローブパルスによって信号電圧の大きい瞬間 (SN 比の大きい時期) に読み出しを行っている。このストローブパルスは普通計算機のクロックから導かれ、したがってクロックに対して固定されている。しかし読み出しの最適時期は、駆動回路の遅延時間のばらつきや変動 (特にトランジスタ回路の場合)、負荷インピーダンスの変動による駆動電流波形の変化、温度の変化などによっ



第 3 図

入することも、3 相同時に投入することも可能である。

このスイッチは 150 lb の空気を封入してプレアークを押えており、投入はばねの力で行われる。なお可動部分の質量が小さいために 1/100 s 以下で投入することが可能で、130,000 A の投入電流量容量を持っている。(第 3 図参照)

以上述べたように、この試験場は近代化した各種機器を備えたため、非常に有効に使用されており、ときには 8 h 2 交代制で試験を行っている。

(相原, 村野 稔)

6・438. 避雷器の国際的規格統一

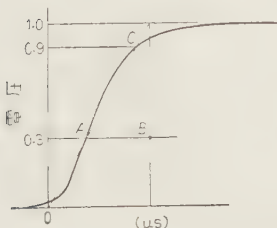
H. R. Armstrong, E. Beck & G. F. Lincks:

The International Standardization of Lightning Arresters. [Elect. Engng, Vol. 79, No. 3, March, p. 204~208]

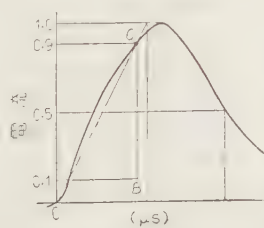
1958 年に IEC によって発表された“避雷器に対する勧告”および“非直線抵抗形避雷器”(IEC 発行番号 99-1) は電気機器の国際的な規格統一のためには重要なことである。

IEC が発表したものは各国規格の協調を取るための勧告であり、規格ではないが、各国はこの趣旨を理解して IEC の勧告に合致するように努めるべきである。アメリカの ASA 避雷器規格はほぼ IEC 規格と一致しているが、避雷器の定格および試験方法のようなものはアメリカとヨーロッパの系統および運転方式が異なるため一致させることはなかなかむずかしいように思う。この論文では IEC 勧告と ASA 規格の差について述べている。

ASA 規格は避雷器相互の特性を比較するために同一の条件で試験することを主目的として設けられている。ゆえに、時々刻々と進歩する避雷器の保護特性など



第 1 図



第 2 図

は製造者にまかせて規格化していない。これに反し IEC は避雷器の保護特性、試験方法および適用法などを述べて避雷器はかくあるべきであると勧告している。

用語その他について若干の差はあるがこれは省略し、こまかい内容を比較すると、ASA は商用周波対地電圧が線間電圧の 80 % をこえない系統を有効接地系と定義しているが、IEC は X_0/X_1 と R_0/X_1 が 0~3 および 0~1 の系統を有効接地系と定義している。これは IEC のほうが適用上便利と考える。

第 1 表 ASA と IEC の比較表

用 語	ASA	IEC
	Valve Type Discharge Voltage Crest Design Tests Ground	Non-Linear Resistor Type Residual Voltage Peak Type Tests Earth
電圧	1.5×40 μs	1×50 μs
試験波形	10×20 "	8×20 "
電流	5×1 "	4×10 "
避雷器の種類	発電所用	10,000 A 避雷器
	中間用	5,000 A " (A)
	配電用	5,000 A " (B)
	二次回路用	2,500 A "
波頭放電開始電圧試験	上昇率を定めているが放電開始電圧は規定せず	上昇率および放電開始電圧を定めている
1×50 μs 放電開始電圧試験	要求していない	放電開始電圧を規定している
動作負荷試験	10 kA (10×20) 20 回	10 kA (8×20) 20 回
耐圧試験 (注 水)	乾燥耐圧値の 80~90 % の値で 10 s	乾燥耐圧値で 1 min
衝撃放電耐量	100 kA (5×10)	100 kA (4×10)

その他試験波形の表示方法が異なっている。すなわち、IEC は第 1 図のように電圧波の場合 30 % と 90 % の点 A, C をむすび、この線と 0 % および 100 % の交点をそれぞれ、規約零点および規約波高値としている。しかし電流波に対しては 10 % と 90 % の点をむすび、第 2 図のように規約零点および規約波高値を決めている。ASA 規格は電流電圧とも第 1 図の方法により波形を表示している。

その他 IEC と ASA の差は第 1 表に示す。

(相原, 村野 稔)

6・439. 電気機器の機能的寿命試験

M. L. Manning: Functional Life Test of Apparatus as Compared with Insulation Material Tests. [Commun. and Electronics, No. 46, June, 1960, p. 1107~1111]

温度、使用環境、電圧変動、短絡電流、過負荷などに対する絶縁材料の耐久性を知ることが電気機器製造上の重要かつやっかいな問題である。これを解決する一方法としての機能試験の重要性が認識されつつある。本文では機器絶縁の機能試験の意義、そ

の特長, Amer. Inst. Elect. Engng における活動と成果, 機器絶縁向上のための今後の対策などについて述べている。

機能試験とは電動機や変圧器の絶縁部分を小形化したモデルを用い, 劣化を促進させるような過酷な条件のもとで, 絶縁の性能や劣化の傾向を調べる試験である。その目的とするところは, 適当な試験片またはモデル絶縁の設計方針を得ること, 実用にそくした試験条件を定めること, 寿命と温度の関係を明らかにすること, 使用時各部の絶縁にどんな特性が要求されるかを見出すこと, 異なった周囲条件のもとでの高温の影響を明らかにすることなどである。これらの目的が達せられれば, 絶縁物の種類別, 使用環境別に機器寿命の推定が可能となり, 逆に機器の合理的用法も明らかになる。

Amer Inst. Elect. Engng では AIEE Standard No. 1 を改訂し, 絶縁および絶縁材料に関する数多くの機能試験法を規格化した。その結果使用状態における機械的性質, 絶縁材料固有の性質と絶縁組織として使用する際の性質との相関性, 絶縁劣化と分解生成物との関係, 温度と劣化の関係などが明らかになりつつある。これらは機器の小形軽量化にとっても重要な資料となる。

絶縁材料単独の試験は合否判定試験としての意義は充分認められるが, 実用時の諸条件を試験に含めることが困難なためにこれを使用特性の推定に利用することはむずかしい。材料個々の使用温度限界を定め, 温度区分をする程度のことはできよう。

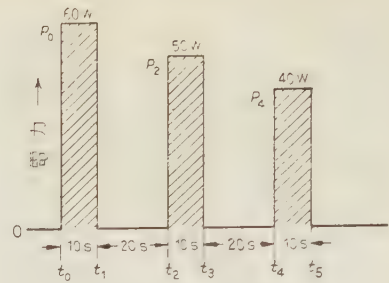
機器絶縁の性能向上のためには, 使用者, 製造者の今後一層の協力が必要なことはいうまでもないが, 特に使用者側で, 過負荷あるいは異常周囲条件のもとで使用した機器の正確な記録をとめておくことが研究推進に大いに役立つ。負荷の大きさ, 負荷時間および寿命の3者の関係が明らかになれば, 耐用寿命が与えられた場合の使用条件の分類が可能となる。

(中島 (達))

6-440. 過渡的, 間欠的負荷時の 半導体整流器定格

F.W. Gutzwiller & T.P. Sylvan: Power Semiconductor Ratings under Transient and Intermittent Loads. [A. I. E. E. Conference Paper, No. 60-69]

半導体整流素子における過渡的または間欠的負荷時のジャンクション温度の決定法は電動機の起動, 制御装置などの定格をきめるうえに必要であり, このほか過負荷を反復する半導体整流器の設計にも必要である。本文はかかる反復負荷の責務を決定し, 各種の間欠負荷時のジャンクション温度を決定する方法を記述したものである。実例として制御電極付シリコン整流



$$T_{t1} = P_0 r_{t1} = 60 \text{ W} \times 2.19^\circ\text{C/W} = 131^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$T_{t3} = P_0 r_{t3} - P_0 r_{(t3-t1)} + P_2 r_{(t3-t2)} \dots \dots \dots (2) \\ = 60 \times 2.65 - 60 \times 2.49 + 50 \times 2.19 \\ = 159 - 149 + 110 = 120^\circ\text{C}$$

$$T_{t5} = P_0 r_{t5} - P_0 r_{(t5-t1)} + P_2 r_{(t5-t3)} \\ - P_2 r_{(t5-t3)} + P_4 r_{(t5-t4)} \dots \dots \dots (3) \\ = 60 \times 3.05 - 60 \times 2.9 + 50 \times 2.65 \\ - 50 \times 2.49 + 40 \times 2.19 = 106^\circ\text{C}$$

ただし, T_{t1} : t_1 のジャンクション温度

r_{t1} : t_1 の過渡熱抵抗, $r_{(t2-t1)}$: (t_2-t_1) の過渡熱抵抗

第 1 図 反復負荷に対する例

素子 C-35 形の過渡熱抵抗 (R_T) 時間 (s) 曲線を実測しておき, これによって第 1 図に示すパルス負荷印加時のジャンクション温度 T_{t1} , T_{t3} , T_{t5} をそれぞれ (1)~(3) 式のように計出している。これにより負荷印加方法とジャンクション最高温度 (第 1 図では t_1 時刻に最高値に達する) との関係がわかる。この論法を推進させてパルス負荷の許容すべき持続時間の課題と, 整流素子の温度上昇の速応性に対して例示した資料を掲載し, あわせて整流素子の間欠負荷, 過渡的負荷に対するの許容過負荷耐量の限界を示している。

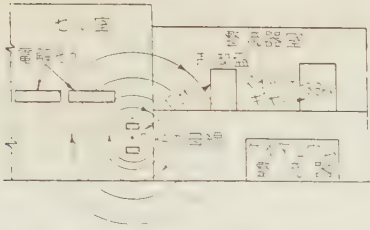
(山田, 加藤又彦)

6-441. 大容量ゲルマニウム変換装置 の起動と初期の運転について

T.C. Ward & George Choma: Start Up and Initial Operation of a Large High Voltage Germanium Rectifier Equipment. [A. I. E. E. Conference Paper, No. 60-212]

先に C.P. 58-413 に設計的見地から 250 V, 140 kA のゲルマニウム整流器の選定理由と一般事項について報告したが, 本文はダイヤモンドアリカリ会社のテキサス州 Deer Park 工場の食塩電解の 5 個月間の運転経過と工場での成果について記述したものである。1959 年 6 月 15 日より運転し, 現在 (1960-2 月) 135,000 A で運転し, うち 140 kA は数日間通電したが, 130 kA での効率 96%, 力率は 91% である。取付け個数 15,552 個のゲルマニウム整流素子中 2 個がパンクし, 6 トレイのヒューズが動作した。現在までに運転保守費 (材料費を含む) の計上は下記のとおりである。

(i) 整流器変換装置機器 1.02 ドル/kW (労務費)



第 1 図 機器配置に対する直流
母線の磁界の影響

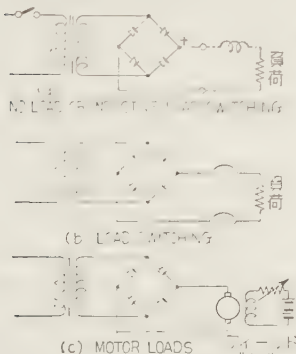
- (ii) 冷却装置一式 1.80 ドル/kW (労務費および材料費)
(iii) 建屋関係一式 6.28 ドル/kW (同上)

140 kA の電解その通電に対しポーラライズ整流器を使い、初充電を実施したため第一日に 90 kA の通電に成功し、電源停電に対する通電開始の時間を短縮することになり、有意義であることが報告されている。また運転した際第 1 図に示すように (+) (-) 母線と計測線の位置の問題で、配電盤が 17 ft 離隔してあるにもかかわらず計測上約 1.5% の誤差を生じた。むすびとして整流素子のパンクは少ないゆえ整流器の構造をさらに簡易化すること。再冷却、冷却ファンの装置を簡易化して建設費の縮減の必要性を力説している。(山田、加藤又彦)

6.442. シリコン整流器の適用技術

Robert D. Lynch: Techniques in the Application of Silicon Power Rectifiers. [Electromechanical Design, Feb., 1960]

シリコン整流器の工業界への販売額は 1957 年 4,300 万ドル、1958 年には 6,800 万ドル、1959 年には 8,800 万ドルと年々増加し、またシリコン整流器を使用した充電装置は 5,000,000 A 以上の容量に達し、さらに電解用、一般工業用として 100~87,000 kW 定格のものまで製作されつつある。整流素子の定格に対してバランス使用と直列抵抗入法の差を論じ、素子の P.I.V. 定格と許容可能の平均電流との関係を記し、さらに整流素子の熱的特性を数式をもって論じている。



第 1 図

そのなかで数サイクル間の短時間過負荷耐量は接合体上下の材料の熱容量にそれ以上、1 s までの過負荷耐量はケースの熱容量に、それ以上の時間のものは冷却片を考えなくてはならない。保護方式として過負荷保護、過電圧保護に

ついてそれぞれ論じ、本文中注目すべきことは、代表的なウエルダの直流電源としてシリコン整流器を使ったときアーク電流が零となるや約 3 倍の直流ピーク電圧が反覆出ることを示し、さらに短絡状況下の責務にも充分満足する必要がある。シリコン整流回路のサージ電圧発生状況として第 1 図 (a), (b), (c) の 3 心の場合を示している。また整流器としての信頼性の評価として 1S×1P×6A のブリッジ回路の実例で素子の信頼性が 0.99 とすれば、総合信頼性 (R) は $(0.990)^6 = 0.941 = R$ で、6 整流素子が並列のブリッジ回路では $R = (0.941)^6 = 0.694$ の信頼性しかないことを一般式を作って示している。さらにブラシなし発電機や 3 種の航空機用シリコン整流器の写真と応用例が示している。(山田、加藤又彦)

6.443. 変圧器の寿命について

Friedrich Stier: Lebensdauer von Transformatoren mit fester Isolierung. [Elektrotech. Z. (E.T.Z.)-A, 81. Jahrg., Heft 1, 4. Jan., 1960, S. 12~14]

変圧器の寿命について絶縁物内に生ずる温度差には従来さほど大きな注意は払われていなかったが、これを無視してかかることはできない。まず、Dreyfus は熱破壊の計算において、絶縁物内の損失は温度と電界強度の二乗に関係すると仮定して、 $\vartheta_m - \vartheta_1 = 1,188/\sigma$ の関係が生ずると熱的不安定が生ずることを述べた。ただし、 ϑ_m は絶縁物内の最高温度、 ϑ_1 は絶縁物境界面の温度、 σ は新しい絶縁物においても劣化した絶縁物でも大体 0.03 grd^{-1} である。

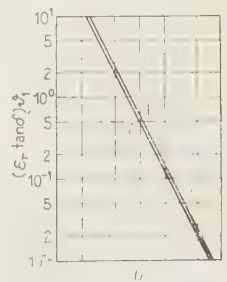
したがって、絶縁物内部に約 40°C の温度差が生ずると熱的不安定が生ずる。しかし、絶縁物の寿命の立場より考慮するときには、電界強度を上求めた温度差を生ずる電界強度よりもかなり低い値に押えなければならない。

変圧器においては、絶縁物内部のごく一部のみが高い電界に耐えなければならないし、またそれに応じて温度上昇もあらわれてくるので、絶縁物内においてどの程度の誘電体損を許してよいかは問題である。

絶縁物の両面対称に

熱発散が起り、さらに誘電体損は温度に関係はないと考えると、絶縁物内の最高温度と表面温度との差は、

$$(\vartheta_m - \vartheta_1)_0 = \frac{q_1 d^2}{\lambda \cdot 8} \dots \dots \dots (1)$$



曲線 1: $\vartheta_m - \vartheta_1 = 10$, $\sigma = 0$
曲線 2: $\vartheta_m - \vartheta_1 = 1$, $\sigma = 0.03 \text{ grd}^{-1}$

第 1 図 $(\epsilon_r \tan \delta) \vartheta_1$ と
電圧 U との関係

ただし q_1 : 表面温度 θ_1 における単位体積中の損失, d : 絶縁物の厚さ, λ : 熱伝導率

となる。 q_1 に絶縁物の誘電体損を代入し, 絶縁物内部の温度を 10°C だけ上昇させる誘電体損と電圧との関係は

$$(\epsilon_r \tan \delta)_{\theta_1} \cdot U^2 = 5,750 \text{ kV}^2 \dots\dots\dots (2)$$

となる。

次に誘電体損が温度によって変化し, その変化は絶縁物の温度とともに直線的に上昇するものと仮定して誘電体損と電圧との関係を求めると

$$(\epsilon_r \tan \delta)_{\theta_1} \cdot U^2 = 4,580 \text{ kV}^2 \dots\dots\dots (3)$$

となる。両式の両辺の対数を取って図示すれば第1図のようになる。古い構造の変圧器に比較して, 寿命を同一とし, かつ誘電損対印加電圧特性の限界内にあるためには, 現在の変圧器では絶縁物表面の温度を 10°C だけ下げなければならない。これには絶縁体内の最高電界強度を温度の低い油中に移すことが必要である。そのもっとも簡単な解決法は絶縁物内部の温度上昇を絶縁物中の油通路の分割によって押えることで, 絶縁物の厚さが $1/2$ になると, 温度上昇を $25 \sim 21\%$ 減少することができる。

以上の結果を総合すると, 絶縁物内の温度上昇は機器の寿命をも考えれば大体 10°C ぐらいの温度上昇が許される。また絶縁物は油通路を分割するのがよい。このほか直接関係はないが, 油浸絶縁物の劣化現象に関する研究や, 油浸紙の誘電損と油の誘電損との関係について, 今後一層の研究が必要であることを指摘している。(近藤, 大重 力)

6-444. ドイツの変圧器と外国の変圧器との比較

H. Langer: Vergleich der in- und ausländischen Transformatorplanung. [Elektrotech. Z. (E.T.Z.)-A, 81. Jahrg., Heft 3, 1. Feb., 1960, S. 81~90]

ドイツの変圧器と諸外国の変圧器との設計上の差異は, 送電系統の構成および運転方式の相違に基づくものである。

インピーダンス電圧は, ドイツでは短絡電流の制限という観点から定められるのに対し, 外国では連系用単巻変圧器の場合でさえも安定度の点から低い値におさえられている。なお連系用大容量単巻変圧器の変圧比はドイツでは $1:1.73$ であるが, 外国では $1:3 \sim 4$ でも経済的とされている。

ドイツの 220 kV 直接接地系統に接続される変圧器の中性点絶縁は, 地絡電流制限のため浮かせることを考えて 110 kV 級と規定されているが, 外国では中性点絶縁レベルはもっと低く, 運転条件に応じて適宜選定されている。

負荷時タップ切換装置として, ドイツおよびヨーロ

ッパ諸国では抵抗器形跳躍開閉器が広く使われているのに対し, アメリカでは大容量変圧器に対してモリアクトル形緩速開閉器が使用されている。負荷時タップ切り換えの結線方式は, ドイツはもっぱら中性点側直接切換方式であるが, 外国では間接方式がいまだに広く採用されている。

冷却方式については, ドイツおよび外国とも大差ないが, アメリカでは油流をコイル・鉄心内部に強制的に送り込む方式をとって, 大容量器の原価低減をはかっている。

次に单相, 三相の比較であるが, 外国では单相器から三相器への移行の傾向が明らかにあらわれている。出力 600 MVA の発電所について, 200 MVA の单相器3台の場合と, 三相器3台の場合とを比較してみたところ, 変圧器自体の価格は单相器のほうが安い, 低圧側大電流母線およびブスダクトを考えると, むしろ三相器のほうが安くなる結果となった。

ドイツでは, 油漬組立輸送方式が古くから実施され, シュナーベル形輸送貨車が用いられてきたが, 最近では外国でも落とし込み式のほかにシュナーベル形の貨車を使用される傾向にある。(相原, 清水 栄)

6-445. 大容量変圧器の騒音抑制法の可能性

Erich Reiplinger: Möglichkeiten weiterer Geräuschbekämpfung bei Großtransformatoren. [Elektrotech. Z. (E.T.Z.)-A, 81. Jahrg., Heft 3, 1. Feb., 1960, S. 102~108]

この論文は変圧器の騒音源の解明とその対策を取り扱ったものである。変圧器の騒音は磁わいに起因するが, 鉄心に発生する磁わいは鉄の化学組成, 結晶構造, 鉄心構造などに影響される。いろいろな鉄心を測定した結果,

(1) 磁わいは鋼板中のけい素含有量に左右され, 6% のとき最少である。

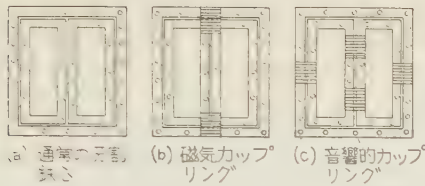
(2) 熱間圧延鋼板より冷間圧延鋼板のほうが $2 \sim 3 \text{ phone}$ 低い。

(3) 同一種の鉄板でも, メーカーにより差がある。

(4) 同一材料中にもばらつきがあり, $2 \sim 3 \text{ phone}$ の差がある。

(5) 騒音発生は鉄心に加えられるストレスによって変わり鉄心締付圧を均一に制限すると改良される。などのことがわかった。

ベンチレータのはいった大容量の変圧器鉄心では, 分割されていることのために単一鉄心に比較して騒音は大きい。この対策としては, 鋼板と平行なみぞにエラストックな材料の板片をそう入して, 分割鉄心を振動に対しては事実上単一鉄心と同じ効果を持たせる。また鋼板に垂直なみぞに対しては第1図 (b), (c) のように鉄心わくを磁氣的, 音響的に結合することによ



第 1 図 三相分割鉄心にそ入したカップリング
って騒音は低下する。それぞれ 3~4 phone の効果がある。

発生した音をタンクの外に出さないようにするために、タンク壁にダンパを取り付けることがいろいろ研究されているが、特に共振を利用したヘルムホルツ共振子が好結果を収めている。300 c/s 程度の音ならば、ガラスウール、石綿、フォームラバなどが有効であり、さらに高い周波数に対しては人工樹脂の膜が効果的である。

このような方法によって約 15 dB 低下した実例を上げて説明しているが、共振子に対する詳細および計算方法については触れていない。(相原、豊田英輔)

6.446. デジタルコンピュータを用いた変圧器の設計

Werner Dietrich: Berechnung von Transformatoren mit Hilfe von Digitalrechnern. [Elektrotech. Z.(E.T.Z.)-A, 81. Jahrg., Heft 3, 1. Feb., 1960, S. 114~120]

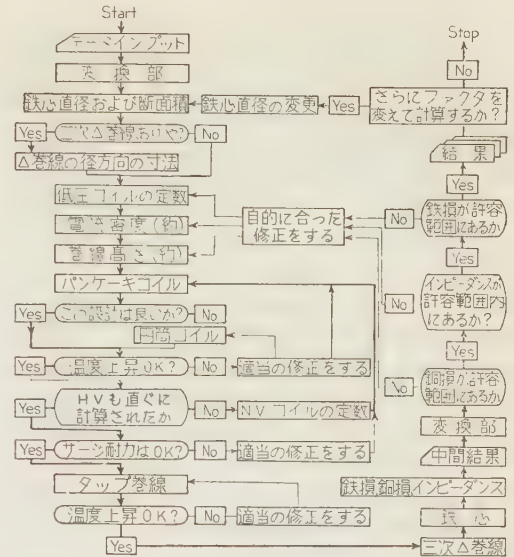
電力用変圧器の内部設計は、厳密性を多少犠牲にすることによって、最適設計を解析的に求めることができるが、一般的にはくり返し法で最適に近い設計を見出すことが実用的である。しかしこのためには莫大な時間を要するので、その対策としてデジタルコンピュータを用いることが行われている。

この論文は、この種の計算機によって設計する場合に必要な準備と、このために開発された構成図について述べ、計算機の性能からみた計算機の大きさについての基本的な考察を行っている。

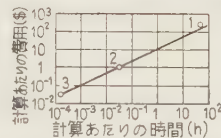
Program-Operated Digital Computer は Program と呼ばれる一連の命令を Store し、それによって自動的に計算させるが、ここに変圧器設計のために開発した Program の構成図を示す。

このような設計計算に、どの程度のデジタルコンピュータが適当であるか、その記憶容量と演算速度および経済性の面からいろいろ比較検討を行っている。たとえば速度の面から考えると、経済性は演算速度の平方根に比例し、その関係を一計算についてみると第 2 図のようになる。

計算機の高速度によって、設計パラメータを変えよときのコストとの関係を調べ、経済的に有利に設計を進めることが可能となり、手による計算を改良するこ



第 1 図



- 1: 四則演算機
2: 中形デジタルコンピュータ
3: 大形デジタルコンピュータ

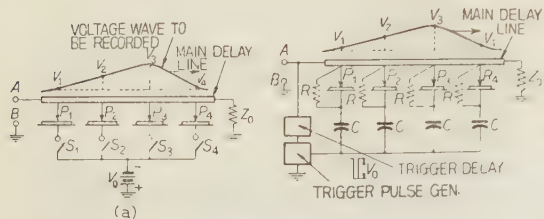
第 2 図 計算機で計算を行う際の演算速度と計算費

とができる。さらに変圧器の構造方面にも利用度は高く、いままで莫大な手数を要するため簡略化した形でしか計算できなかった技術上の問題、たとえば変圧器中の電界、磁界、リアクタンス、巻線の衝撃電圧特性などを詳細に調査できる。また変圧器設計に必要な技術上、商業上のプロセスを自動化し、製造の準備および材料管理の仕事も敏速に処理するうえに重要な役割をはたすこととなる。(相原、豊田英輔)

7.447. タイノグラフ、新しい 高圧サージ記録器

J. G. Anderson, R. U. Giacomoni: The Teinograph A New High-Voltage Surge Recorder. [Elect. Engng, Vol. 79, No. 3, March, 1960, p. 184~189]

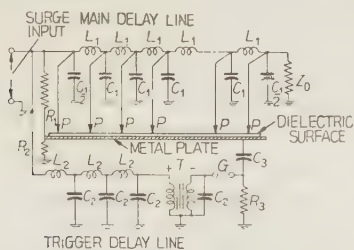
いままで衝撃電圧の波形を測定するには陰極線オシログラフが使用されてきた。しかしこの装置は電源を必要とし、かつ機構が複雑な関係上、たとえば送電鉄塔の雷電流を測定するために、各鉄塔ごとにこれを取り付けて長期間測定を行うことは到底不可能であった。この論文に紹介されたタイノグラフは電源、電子管などを使用せず、永い間放置したままで測定ができる装置である。この原理図は第 1 図のように、遅延線、終端抵抗 Z_0 (遅延線のサージインピーダンスに等し



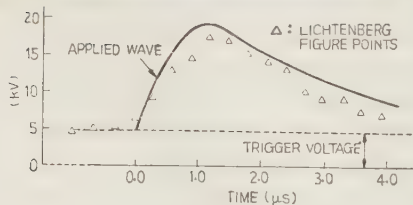
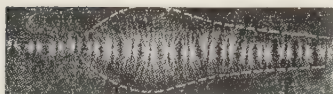
第 1 図

い) クリドノグラフ $P_1 \sim P_4$, スイッチ $S_1 \sim S_4$ およびバイアス電源 V_0 によって構成されている。いま AB 端子より正極性の進行波が第 1 図 (a) のように侵入したとき、スイッチ $S_1 \sim S_4$ を同時に投入し直ちに開放すれば、各クリドノグラフの平板電極は V_0 の値となるため、 P_1 のクリドノグラフの電極間には $V_1 + V_0$, P_2 には $V_2 + V_0$, P_3 には $V_3 + V_0$, P_4 には $V_4 + V_0$ の電圧が印加し、この電圧に応じリヒテンベルグ像が各クリドノグラフ乾板上に生ずる。侵入電圧のパルス幅がマイクロ秒程度のときは、スイッチを機械的に操作することが不可能なため、第 1 図 (b) のように侵入波が遅延線上に分布したときに波高値 V_0 なる負極性トリガパルスを各クリドノグラフの平板電極に印加する。このトリガパルスの幅は被測定サージに比べて短いことが必要である。

実際の回路は第 2 図のように、被測定波が主遅延線に侵入すると同時にトリガ遅延線にも侵入し、変圧器 T_1 で極性を反転させ、ギャップ G を放電させることにより、被測定波が Z_0 に達する前に約 5 kV のバイアス、パルスをクリドノグラフの平板電極に印加し



第 2 図



第 3 図

ている。なお R_1, R_2 は平板電極の電位を保つための抵抗で $R_1 \ll R_2$ として、バイアス電圧が印加しないときはクリドノグラフの電極間に電位が印加しないようになっている。このような方法によって得られた波形を第 3 図に示す。図のように印加波形とリヒテンベルグ像の包絡線はきわめてよく一致している。

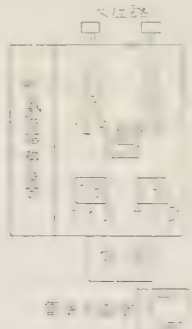
この装置で電流を測定するには空心変流器の二次コイルに発生した電圧を利用している。この方法はシャントの電位降下を利用するより安価である。タイノグラフの大きさは $18^{1/2} \times 10 \times 6^{1/2}$ in, 重量は 22 lb, 価格は陰極線オシログラフの $1/2 \sim 1/10$ 程度である。

(和原, 片野 誌)

7-448. 火力発電所の制御盤の配置と運転

E. G. Norell: Power Plant Control Board Locations and Operation. [Pwr Apparatus and Syst., No. 45, Dec., 1959, p. 1381~1388]

現在行われている配置は 5 種類に分けられる。第 1 は第 1 図で電気盤はスイッチャード内の別館に納められている。第 2 は第 1 の電気盤をボイラ、タービン盤とならべたもので、これらは 2 台のボイラと 2 台のタービンからはほぼ等距離の点に集中配置されて、その制御ケーブルと配管が屋外変電所へゆくものを除き最短となる一方、ボイラとタービンを離すので建物が大きくなり建設費を増す。また制御室がボイラに近過ぎるからボイラ爆発のときに他のユニットの制御室も侵害され、2 台とも停止させられることもあるが、これはまれなので次の第 3 にくらべ有利である。

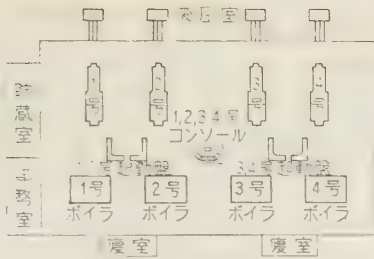


第 1 図 2 ユニットの発電所用制御室の配置

第 3 の配置はこの点では解決されている。ボイラ、タービン発電機の各制御盤の 3 ユニット分ぐらゐまでをスイッチャード側に突き出した 1 室に納めたもので、変電所へのケーブルは短くなるが、ボイラとその補機へのケーブルは長くなり、制御室ヒルの建設費も余分に要する。

第 4 は第 3 の制御室を張り出さずにボイラとタービン発電機間に置いたもので、第 1 と第 2 の長所短所がそのまま第 3, 第 4 の長所短所となる。

第 5 は起動のとき一度調整や整定すればあとは用のない部分を分けて起動盤とし、常時監視の必要あるもののみをコンソールにまとめ、これも不用の電流計などは取り止め、実用的に限度があるが計器や操作スイ



第 2 図 単一のコンソール
の 4 ユニット発電所

ッチは縮小形とし、記録計は裏側に回す。代わりに現場運転員や系統負荷配分指令員との通信装置や ALR を加える。これを第 2 図に示した。

現場制御室は起動と停止操作だけに用いられ、平常運転は一切集中化したコンソールから行い、しかもコンソールにおける情報と制御の量を減らせば、それだけ自動化の程度を増して補う必要がある。最近各種自動装置、データロガなどが用いられつつあることは好ましいが、現在ではこれらを使っても直ちに運転員を減らさず、経験を積み将来の発達を促し、その後に運転員を大幅に減らせることを期待する程度である。

(相原, 河原 弘)

7-449. 系統連系と系統制御

Georg Boll: Regelungsaufgaben im Verbundbetrieb. [Elektrotech. Z.(E.T.Z.)-A, 81. Jahrg., Heft 5, 29. Feb., 1960, S. 154~162]

近年各国とも、系統連系が盛んに行われ、現在西ヨーロッパでは、フランス、ドイツ、スイス、オーストリー、オランダ、ベルギー、などの諸国が、各国間の連系を行って、同一周波数をもって運転している。その容量は、全発電機設備容量で 3,000 万 kW に達している。またアメリカ東部においても、6,000 万 kW におよび連系系統が運転している。(第 1 図参照)かように系統連系が強力に進められつつあるのは、地域的な電力の過不足を系統連系によって吸収しようとする“経済融通”と、技術的に各系統が互に連系によって



第 1 図

助け合い、“系統の安定化”“信頼度の向上”を図るとともに、予備容量の節減などを目標としていることはいうまでもない。

このような大系統を満足に運転するには、系統内の有効電力、無効電力の不均衡を自動的に調整する必要が生じ、有効電力—周波数制御、無効電力—電圧制御を実施することが不可欠になる。

系統内の有効電力の不均衡は、周波数の変化によって知ることができるが、これをいくにおさめるべきかについては、需用家へのサービスという面と系統運用の面の二つが考えられる。経験的に前者の点については $\pm 0.5 \text{ c/s}$ 程度ならばさほど問題にならず、むしろ、後者の系統運用という面から $\pm 0.1 \text{ c/s}$ という周波数変化幅が与えられている。

系統の電力不均衡量と周波数変化量の関係を示す系統定数 $[(\text{MW}/(\text{c/s}))]$ については各国とも熱心に研究を行っているが、解析的に求めた値は実験的に求めた値より大きく出る傾向があり、現在まだその理由は完全には明らかにされていない。現在の全西欧連系系統については 10 \% MW/c/s という値が得られている。

連絡線電力の制御方式としては TBC 方式がもっぱら用いられているが、場合によっては AFC と TBC が組み合わされて用いられることも少なくない。また少数の例外を除き、多数の調整発電所を 1 個所から集中的に制御する中央集中制御方式がもっぱら用いられている。

有効電力の不均衡が直ちに系統全般におよぶのに反し、無効電力の不均衡は極端に局部的で、場所場所によって電圧もさまざまに変化する。有効電力制御のうえから大きな利点をもっている系統連系も、無効電力制御、電圧調整という点からは必ずしも有効とはいえない。長距離送電線や変圧器のリアクタンスがわざわざいして、無効電力が系統内を自由に流れることが妨げられ、連絡線両端の電圧が $5 \sim 10 \text{ \%}$ 程度変化しても他系統からはあまり大きな無効電力融通は行われない。したがって系統の電圧維持という問題は、系統運用上有効というよりもむしろ需用家へのサービスという面が非常に大きい。制御機器としても、有効電力制御の場合はほとんど調速機だけに限られていたのに反し、無効電力制御の場合は、発電機 AVR、負荷時電圧調整器、シャントコンデンサ、シャントリアクトル、同期調相機などが大きな役割を果たしているが、日常運用に負荷対電圧調整器が盛んに活用されているのは日本と事情の異なっている点であろう。

電圧調整に関連して最近特に注目されてきたのは、ヨーロッパ全系統を強力にむすんでいる長距離高圧線路の充電容量で、これをいかに処理するかは、系統運用上一考を要すべき問題としている。その他ケーブルの充電容量増加のことなどもあって発電機の進相運転が問題になりつつある。

(森, 関根泰次)

7-450. 周波数および出力制御に おける火力発電所の制御に 必要な系統の条件

Hans Slühlen: Anforderungen der Netze
bei der Frequenz- und Wirkleistungsregelung
an die Regelung von Wärmekraftwerken.
[Elektrotech. Z. (E.T.Z.)-A, 81. Jahrg., Heft
5, 29. Feb., 1960, S. 162~168]

電力の供給に際してはそのときどきの需用に応じた量を供給してやらなければならないので、それぞれ適当な方法により対処しなければならないが、これについて筆者は西ドイツ Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk AG の1日の負荷曲線に例をとって種々述べている。筆者は負荷変動の、特に大きさとその変化速度の二つの量をいくつかの例よりとりあげて論じ、さらに揚水発電所、一般工業における背圧プラントおよび新鋭のいわゆる火力発電所について述べている。(日本と電力網の事情が異なるので、そのまま受けとれないがそれぞれの例より負荷変動の大きさとおよび変化速度を数字で出しているので参考になろう)

たとえばある負荷曲線より午前1時~6時の間は最大ピーク負荷時における出力の0.008~0.01%/minの変化にすぎないが、午前6時~8時30分にかけては約0.2%/minで負荷上昇し、8時30分よりは平均0.4%/minで一時的減少している。しかしこの値は30min平均の値であり、実際にはもっと大きく変化し、9時近辺においては2.2%/minの速度で減少していることが報告されている。また系統制御の失敗により25sに480mWの電力を制御し、実に1,150MW/minという数になったことも報告している。これはその瞬時の系統の設備容量の23%にあっている。さらに鉄鋼関係の圧延機の負荷変動および化学工場などの場合についても若干論じ、結論として次のように述べている。いろいろな負荷特性を持つ電力系統では負荷の変動速度は上昇時2%/min、下降時4%/min(いずれも最大ピーク負荷の)に達し、大きな負荷変動速度は大きな負荷変動とともにきて、これは最大負荷になったとき次の下降時に起っている。そのような系統の機械には次のような特性が要求される。

(1) 新鋭の蒸気タービン設備は出力が100~75%の間で少なくとも2~3%/minの変化速度が可能なこと。

(2) 機器は負荷変動 $\pm 8\%$ を最大速度で制御できること。(約2%/s)

(3) 機器の制御器には高い感度と小さなむだ時間が要求され、電気式の制御器がこれまでのものに付加されるべきであること。

(4) 上記の特性は一定蒸気条件の場合には無条件で満足されなければならないこと。(清水、門田一男)

7-451. 周波数制御と水力発電所

Manfred Engl: Anforderungen der Netze
bei der Frequenz- und Wirkleistungsregelung
an die Regelung von Wasserkraftwerken.
[Elektrotech. Z. (E.T.Z.)-A, 81. Jahrg.,
Heft 5, 29. Feb., 1960, S. 168~175]

西ヨーロッパ全体の総発電電力量としては、水力発電所のしめる役割は比較的小さいが、アルプス地帯における融雪期を中心とした豊水期や、ドイツ、フランスなどの局所的水力系統、スウェーデン、スイスなどの水力国ではまだ周波数制御の大部分を水力発電所にたよっている。

周波数制御にもっとも有効なのは貯水式発電所であることはいうまでもないが、たとえば西ドイツなどでは貯水式発電所の容量は、1,200MWにすぎず、昼夜の負荷の大きさの差(約7,000MW)の1/6にしかない。揚水式発電所を建設してその容量を500MWから1,670MWに増強した。これによって、火力発電所の運用その他が非常に容易になるはずである。

水力発電所による系統制御にあたって問題となるのは、一つの水系に連った調整池式発電所もしくは流れこみ式発電所で、巧みな計画運転を行うことによって、いわゆる周波数制御発電所にかかる負担を小さくする必要がある。

また、従来用いられてきた機械式調速機は、種々の点で性能がおとるので、近年では、電気式調速機が用いられ、スウェーデンではもっとも見事な成果をあげているほか、スイス、イタリアでも盛んに用いられるようになってきている。

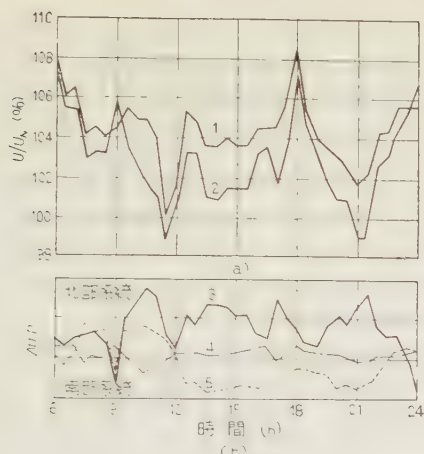
なお本論文に述べられている水力発電所の系統制御への適用という問題に関しては、種々の事情がわが国とよく似ているが、火力発電所と、水力発電所の制御面で協調をいかに行うかについてはあまり詳しく解説されていない。(森、関根泰次)

7-452. 電圧ならびに無効電力 調整に関する問題

Max Erich: Anforderungen der Netze an
die Regelung von Spannung und Blindleistung.
[Elektrotech. Z. (E.T.Z.)-A, 81.
Jahrg., Heft 5, 29. Feb., 1960, S. 176~181]

系統の電圧と無効電力の制御に関し系統運用上および需用者側からの要求に対する諸問題について、その例と対策について述べている。

まず電圧調整への要求とは送電線については発電機の並列運転時の同期化力、発電機間の突発事故時の安定運転、さらに系統の絶縁、通信関係に対する高周波誘導妨害問題、過電圧によるコロナ損の見地から一定



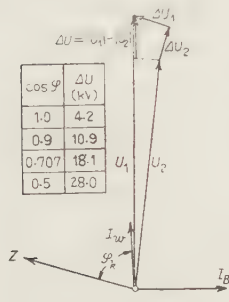
第 1 図

の電圧変動範囲を規定し、配電システムについては許容電圧変動範囲を技術面（回転機およびその他電気設備の運用上）経済面（機器の効率および寿命）から規定している。

続いて電圧降下の原因とその結果について高压系統の送電線と変圧器について述べているが、前者に関しては 110 kV 系統送電線の電圧ベクトルにより、(第 3 図) 一定実効電流送電時の無効電流が電圧調整に対して大きな意味を有することを示している。

後者に関しては漏れインダクタンス 9~13% を有する場合に無効電流送電の電圧変動は $\cos \phi = 0.82$, 定格電圧において 10% となり、通常の変圧器の調整範囲の 50% を変圧器自身の電圧降下で占めてしまうという不利な点を指摘している。

中電圧系統の電圧降下の原因とその結果についても $\cos \phi$ と電圧変動の関係を実効電流負荷 100 A, 20 kV, 20 km ころ長の送電線について図示している。さらに二つの南北中電圧配電系統の連系点における、曲線 1: 北部系統の電圧比 U/U_N , 曲線 2: 南部系統の電圧比 U/U_N , 曲線 3: 北南部系統の電圧差 $u_{\text{nord}} - u_{\text{süd}}$, 曲線 4: 無効電力 P_b , 曲線 5: 実効電力 P_w を第 1 図 (a) (b) に示している。



第 2 図

電圧保持の改善とその制御については一般には安定系統に連系する部分系統は連系点に負荷時タップ切換変圧器を設置することにより成果はあるが、充分安定でない系統に連系する部分系統の電圧調整は非常に困難であると述べている。

全系統の電圧制御は同期発電機、調相機リアクトルコンデンサなどの補償機

器によりなされ、一般的には動的でなく静的調整問題であり、本質的には無効電流バランスの問題であるとしている。

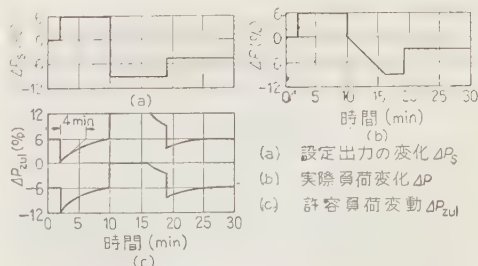
(清水, 荻野純男)

7.453. 蒸気原動所と電力系統の制御

Werner Friedewald, Peter Mörk u. Herbert Zwetz: Einsatz von Dampfkraftwerken im Netzbetrieb als regelungstechnische Aufgabe. [Elektrotech. Z. (E.T.Z.)-A, 81. Jahrg., Heft 6, 14. März, 1960, S. 185~193]

西ドイツにおいては、近い将来蒸気原動所が系統制御に全般的に活用されることになるが、本論文はその場合の問題と解決法とを、個々の原動所構成要素の制御特性に基づいて論じてある。蒸気原動所を制御上の観点から眺めた場合、各構成要素は蓄勢能によって代表される種々の次数の遅れ要素とみなしうる。特に再熱式タービンの場合、再熱器の蓄勢能 (5~10s の遅れ) が難題を提示する。ボイラはそれ自身があたかも一つの大きな蓄勢そうであって、その蓄勢能はボイラの形式、圧力などに関係し、圧力、容量が同じでも形式により 3 倍も異なる。圧力の保持とならんで温度の保持が重要であり、温度の変動が大きいと大きな蓄勢能も充分に利用しきれない。さらに重要なものは、高次の遅れ要素となる熱的蓄勢能であり、この時定数は部分負荷ほど大きくなるので、制御装置は部分負荷率で調整しなければ、部分負荷でハンチングを生ずるおそれがある。

タービンの回転数制御装置には、今日なお比例性のものが用いられており、開いた回路の利得定数は普通 25~250 と異常に大きく、これは制御対象が一次遅れでよく近似でき、かつ始動時間にくらべ制御装置の遅れが充分に小さな場合にのみ可能である。ターボセットの許容負荷変動は、高压部の熱応力により主として決まるが、再熱器の蓄勢能のために過渡的に高压部だけが過調整 (ほぼ 200%) される場合、これが大きな制約となる。負荷変動後のタービン内の熱的平衡過程に着目し、これを一次遅れで近似して、負荷変動経過につれて許容負荷変動域を修正してゆくような制限装置は、いままで提起されてきたものより合理的、かつ製作も簡単である。(第 1 図) ベンゾンボイラとドラ



第 1 図 蒸気タービン負荷変動の一例

ムボイラの制御上の本質的な相違は、前者の最終蒸発点が可動であることによる。ドラムレベル調整に代わって、給水-注水比が一定に制御される。給水-燃料比を時間的にもより厳正に制御するために、燃料に対する予調整要素の採用は効果的である。最後に一例としてかかげられたベンソンボイラ制御の実測結果では、40%の負荷変動に対し、ボイラ出口の温度変化は $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内に確実におさまっており、これから、蒸火力をシステムの周波数-出力-制御に活用する一つの可能性が結論できる。(清水, 西岡良三)

7-454. 中間過熱装置をもった 火力発電所の急しゅん変動 負荷に対する応答

Paul Grasmе: Das Ausfahren steiler Lastspitzen durch Dampfkraftwerke mit Zwischenüberhitzung. [Elektrotech. Z. (E.T.Z.)-A, 81. Jahrg., Heft 6, 14. März., 1960, S. 193~203]

本論文は火力発電所を系統制御に用いる場合に、急しゅんな負荷変動に対して、火力発電所がどのような応答特性を示すかについて理論的検討を行い、実験用強制循環形ボイラを用いて実験を行ったものである。

すなわち、まず一つの容器内に沸騰水と飽和蒸気がある場合に、その蒸気の一部を抽出したときに生ずる圧力変化がどのようになるかの解説からはじまり、自然循環形ボイラの場合を例にとって、蒸気流量が急変した場合の種々の応答特性を説明し、最後に 44 t/h の最大容量をもつ実験用ボイラを用いて、ボイラ負荷が比較的急しゅんに変化した場合でも、あまり遅れを伴わないように、ボイラへの給水および燃焼を負荷変化に追従させれば、圧力降下もわずかで、負荷変化に

応じうることを説明している。

給水制御と燃焼制御の応答特性によって、ボイラの蒸気流量変化に対する圧力変化の様子は第1図 [I], [II] に示すごとくである。[I] 図は両者の制御がほとんど時間遅れなしに行われた場合を示し、負荷(蒸気流量)が基底負荷から 63.5% 変化した場合にも、圧力変化の振幅は 104% から 87% の範囲におさまり、負荷変化が終ればほぼもとの値に復帰するのに反し、[II] 図のように遅れが大きいときは、蒸気圧力も大きく変化し、かつ負荷変化がすんでももとの値にもどらず次第に不安定になる。

この場合、燃焼制御については、燃焼の制御ばかりでなく、燃焼空気もこれにあわせて適当に調節することが必要である。燃焼制御を円滑に行うには、重油およびガスのほうが、石炭よりも適しているが、短時間の中に消滅する急しゅん負荷ならば、微粉炭によって大部分の負荷変化を吸収し、これで吸収できなかった残りの小部分の負荷を重油で処理することが可能と思われる。

この間の事情は圧力のみでなく、蒸気温度についても同様であるが、急しゅん負荷に対してボイラを運転するためには特に高感度の温度検出器を用いて、温度制御を完全に行うことが必要である。

なお、ボイラ制御において、圧力変化量、負荷変化量をどの程度におさめる必要があるかは、ボイラ各部の使用材料によってきまることであり、これもボイラ制御上きわめて重要な問題であるが、これについては本論文では詳しくは取り扱われていない。

表, 関根泰次

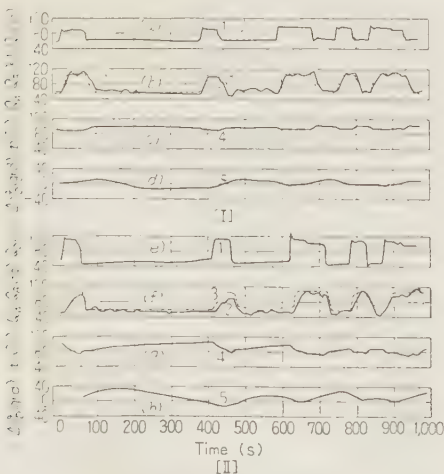
7-455. 電力系統における 水力発電所の制御

Hanns Eilken: Regelung von Wasserkraftwerken im Netzbetrieb. [Elektrotech. Z. (E.T.Z.)-A, 81. Jahrg., Heft 6, 14. März, 1960, S. 203~209]

電力系統の運営上の水力発電所の特徴は急激な負荷変動に対する適応性にあるが、水力発電所の制御を論ずるにあたっては水車、発電機、電力系統、水圧鉄管、サージタンクおよび调速機からなる全制御系を考えなければならない。

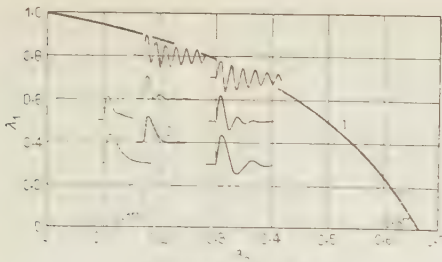
水圧鉄管には水撃作用があるため、たとえば回転数が上昇し、水車の室内羽根を閉じる場合には有効落差が増大しかえて水車出力が増大する。そのため制御は困難になる。この水圧鉄管の不安定作用を減少するためには案内羽根の開鎖速度を小さくしなければならず、そのためには速度調定率を大きくすることと、発電機の GD^2 を大きくすることが考えられる。しかし一方では制御の迅速性を失うことになる。

鉄管の水撃作用の影響は“鉄管の慣性定数”により



Q_D : ボイラ出口の蒸気流量, Q_W : 給水量, Q_B : 燃料供給量, p : ボイラ出口の蒸気圧力, θ : 蒸気温度変化量

第1図 ベンソン形ボイラの負荷応動試験



第 1 図

また、発電機 GD と電力系統との結合は、発電機と電力系統との結合定数を T_i とし、 GD^2 の慣性定数を T_a 、調速機の復原量を X_p 、とすれば $\lambda_1 = T_i / X_p \cdot T_a$ 、また横軸は、弾性復原の時定数を T_n 、過渡速度調定率を R' とすれば、 $\lambda_2 = R' \cdot T_i / T_n$ となる。これにより最適の制御動作に対する水圧鉄管の慣性定数と GD^2 の慣性定数の関係が、水圧鉄管の慣性定数と弾性復原の時定数の関係となる。

発電所を計画するにあたって制御を速くする必要がある場合には、計画時において水圧鉄管の直径を大きくし、過渡速度調定率を大きくするかまたは GD^2 の慣性定数を小さくすることになる。しかしながら、これらは、経済的な観点から見て、必ずしも第一に考慮すべき事項ではない。

最近、この問題に関する研究は種々あるが、たとえば Paynter により図のように表わされている。縦軸は、水圧鉄管の慣性定数を T_i 、 GD^2 の慣性定数を T_a 、調速機の復原量を X_p 、とすれば $\lambda_1 = T_i / X_p \cdot T_a$ 、また横軸は、弾性復原の時定数を T_n 、過渡速度調定率を R' とすれば、 $\lambda_2 = R' \cdot T_i / T_n$ となる。これにより最適の制御動作に対する水圧鉄管の慣性定数と GD^2 の慣性定数の関係が、水圧鉄管の慣性定数と弾性復原の時定数の関係となる。

また過渡速度調定率を最適値より小さくすれば発振の傾向が現われ、大きくとれば定常状態への収れんが遅れ、また弾性復原の時定数を大きくすれば制御動作が遅くなり、短くすればゆきすぎを生ずるが制御が速くなる傾向があることがわかる。(清水、上田庸夫)

7-456. 系統制御に用いられる 測定器および制御装置

Friedrich Maier: Gerätetechnische Lösungen auf dem Gebiet der Verbundregelungen. [Elektrotech. Z. (E.T.Z.)-A, 81. Jahrg., Heft 6, 14. März, 1960, S. 209~218]

系統制御はある意味では、いろいろな技術の総合技術ということがいえるから、個々の制御機器、測定器を選ぶにも、系統制御全般を考慮して選択決定を行う必要がある。

本論文は系統制御に用いられる種々の機器およびその構成法などを例をあげて説明し、種々の応用面で用いられている制御方式について記したものである。

系統制御でもっとも問題になるのは系統の周波数測定であるが、U.C.P.T.E. では周波数測定範囲を 49.5 ~ 50.5 c/s 以上にきめている。一方、融通電力制御を考えると、現在の全ヨーロッパ連系統の系統定数より判断して 0.002 c/s 程度の測定精度が要求される。また融通電力制御については、伝送回路などの誤差も含めて全部で 2% 以下になることが必要とされている。なお現在のところ、周波数の微分値を系統制御に用いることはあまり必要が感じられていない。

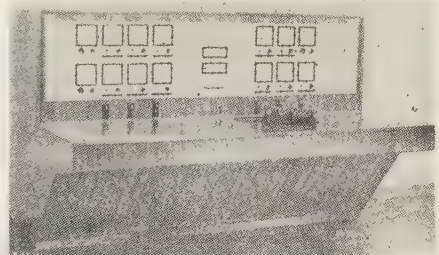
現在広く用いられている精密周波数測定器は、系統周波数を過倍して水晶発振器からの標準信号と比較する方式のものである。

現在の系統制御ではもっぱら中央制御方式が用いられているため、遠隔測定、遠隔指令の技術が不可欠となっており、各国ともその技術の完成に努力している。現在西ドイツで用いられている遠隔測定方式としては、衝流周波数方式 (Impulsfrequenz uerfahren) と FM 方式が用いられている。前者は所用周波数帯域幅がせまくてすむ利点があるが、後者の FM 方式では、同時に多数の信号を送るのに適している。

ドイツでは系統制御に用いられる種々の測定装置、継電器類はすでに標準化している感があり、本論文ではこれらについて簡明な解説が加えられている。

次に、中央の制御装置から各発電所に指令を送る制御回路の構成方式の問題であるが、現在、中央から各発電所へ指令出力信号を送るのみで、各発電所の実際の出力をもとにもどさない方式と、いったん、実際の出力を中央へもどして指令出力との差を信号として発電所に送り返す方式が用いられており、両者の優劣が比較されている。

なお一般に電力系統のほか、西ドイツでは各産業の自家発電系統が一般電力系統と連系されていて、その連系電力の制御が問題となるが、この点で特に特殊性をもつものとしては、製紙工業や紡績工業などにみられる。この場合は工場内で用いる蒸気の余剰で発電を行い、一般系統に融通する場合で、その具体的な制御方式についても説明が加えられている。また、ドイツ、スイス、オーストリーの鉄道系統が連系しているので、相互間の融通電力制御も一般の系統制御とは異なった性格をもっている。



第 1 図

最後に最近の系統制御におけるトピックとして、1959年夏以来南スイスの Aare Tessin A.G. で用いられているデジタル制御装置が紹介されている。これは周波数、融通電力ともにデジタル計量され DA 変換器でアナログ量に変換されて制御機器を制御するものである。

本装置は全トランジスタ式で、使用トランジスタは 1,000 個、ダイオード 2,500 個で、周波数測定精度は ± 0.001 c/s、融通電力、周波数ともに毎秒 9 回の割合で測定されている。もちろん各種の設定はデジタル式に行う。

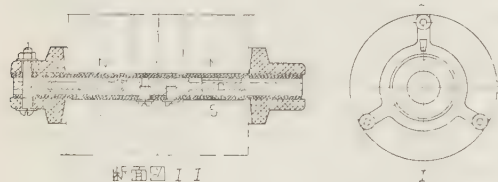
末尾に Siemens で開発した経済負荷配分装置 Sielomat(第 1 図)が紹介されている。これは現在火力発電所 20 機が扱えるようになっていて、方式としてはアメリカで行われているのと同じである。

(森、関根泰次)

7-457. 220, 330 および 500 kV 用の磁気消弧装置付避雷器

В. П. Савельев и. В. В. Шматвич: Разрядники 220, 330 и 500 кв ДЛЯ защиты от атмосферных перенапряжений с магнитным гашением дуги. [Вестник Электрапром, No. 2, 1960, стр. 24~30]

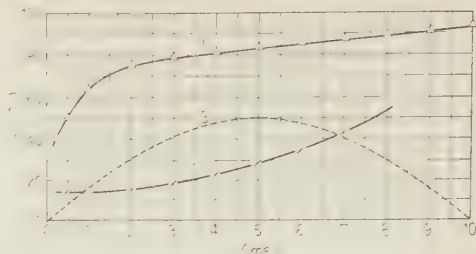
避雷器の放電ギャップとして第 1 図のように、同心環状の電極間のギャップを円柱形の永久磁石の作る磁界が垂直に貫いている構造のものを採用した。アークが磁界のために環状のギャップ中を回転することにより消弧を早めるが、円滑にアークを駆動するために最適な電極材料は銅である。電極面はよく研磨し、脂肪を除く必要がある。電極のセパレータにはプレスボードを用いた。エアギャップ中の磁界強度は 700~900 Oe である。



第 1 図 放電ギャップの構造

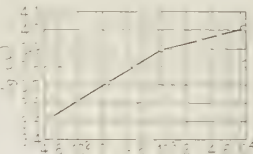
同程度のパラメータを持つ普通の放電ギャップと、その絶縁回復特性を比較したのが第 2 図である。同図は波高値 300 A の衝撃電流を流したのちのギャップの絶縁耐力の時間的変化を測定したもので、比較のために放電開始電圧の 50% の波高値の正弦波の回復電圧をも示してある。

このギャップ 4 個と並列抵抗を磁器円筒内に収めて 1 ブロックとし、ブロック 5 個と直径 150 mm、厚さ 50 mm のパイライト円板 (V-I 特性を第 3 図に示す)



第 2 図 放電ギャップの絶縁回復特性

10 個を直列にし、磁器円筒内に密封したものを避雷器の 1 ユニットとする。220, 330 および 500 kV 用避雷器は、3 本または 4 本の支柱よりなるがいし製の塔にそれぞれこのユニット 6, 10 および 12 個をジグザグ状に配置して構成する。その特性を第 1 表に示す。



第 3 図 パイライト円板の電圧・電流特性

第 1 表 避雷器の特性

特性	220 kV	330 kV	500 kV
全高電圧 (kV _{eff})	220	330	500
最大電圧 (kV _{max})	252	347	525
全高電圧 (kV _{eff})	200	280	395
最大電圧 (kV _{max})	370	500	710
全高電圧 (kV _{eff})	<500	<700	<1,200
最大電圧 (kV _{max})	<550	<760	<1,260
全高電圧 (kV _{eff})	20 kA	20/40 μs	
最大電圧 (kV _{max})	1300 A	0.01 s	

(鶴見、伏見光造)

7-458. 直流 3,000 V カルカッタ郊外電車

Hans-Dieter Lascych: Elektrische Triebzüge 3,000 V Gleichstrom für den Vorortverkehr Calcutta. [Elekt. Bahnen, 31. Jahrg, Heft 2, Feb., 1960, S. 34~41]

1956 年にカルカッタ郊外の一部線区が電化されて 3 両編成の直流 3,000 V 電車 64 編成がイギリスグループ、ドイツグループおよびスイスグループにより製作された。ドイツグループの電車は電気品は AEG で、車体は MAN で作られた。本文ではこの電車の詳細を、主回路つなぎ、ノッチ順序表、主電動機特性曲線、機器写真などを示して説明している。

車両の主要諸元は下記のとおりである。
軌間 1,676 mm、車体長 20,726 mm、編成長 63,398

mm, 車体幅 3,658 mm, 車体高さ 3,811 mm, 車輪直径 952.5 mm, 自重 A: 33.7 t, B: 53.9 t, C: 32.9 t, 定員 座席 290 人, 立席 290 人(満員時 580 人), 主電動機 (1 h 定格) 165 kW—124 A×4 台, 定格速度 51.5 km/h, 最高運転速度 105 km/h, けん引力 4,760 kg, 加速 1.95 km/h/s, 減速 2.28 km/h/s。

現地の雨期における 100% 近い湿度や, 68°C もの酷暑, 乾燥期のじんあいなどの熱帯性気候は, 各機器に特殊の配慮を必要とし, 絶縁物の選択と金属の防食に留意した。この電車は T 車 A, M 車 B, T 車 C の 3 両を 1 編成としているが, 3 編成を重連して 9 両でも運転可能となっている。制御は限流継電器による自動ノッチ進め方式で, 直列 11 ノッチ, 並列 5 ノッチ, 2 段の弱界磁を行い, 直並列の切り換えには橋絡渡りを採用している。補助電源は発電機側 110 V, 16 kVA, 145 A, 電動機側 2,900 V, 19 kW, 9 A, 毎分 1,550 回転の電動発電機を用いている。コンプレッサの電源はこの補助電源より得ている。主電動機の許容温度上昇は, 界磁巻線 95°C, 電機子巻線 85°C, 整流子 75°C に抑えている。またその冷却方式は風冷で, 風は車内の客席の下から得ている。制動には空気ブレーキを用いている。屋根上機器と床下取付けの主抵抗器を除いて, 高压機器はすべて B 車の後部にある高压機器室に収めている。蓄電池はニッケルカドミウム 72 セル, 155 AH の容量のものを備えている。

パンタグラフは 2 個あり, 走行中はそのうちの 1 個を用い他は予備用である。保護装置としては, 高速遮断器, 無電流継電器, 避雷器, 過電流継電器などが用いられている。(相原, 林 圭一)

10・459. 電源安定用トランス

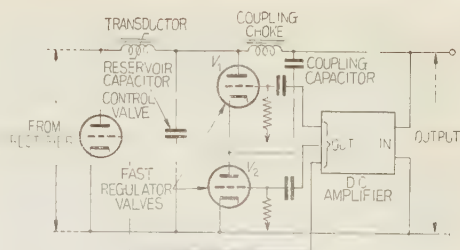
ダクタ調整装置

A.N. Heightman: A Transductor Regulator for Stabilized Power Supplies. [Brit. Instn Radio Engrs, Vol. 20, No. 2, Feb., 1960, p. 105~123]

出力電流が約 1 A の定電圧電源に用いる新形トランスダクタレギュレータについて述べている。直列形式真空管式レギュレータでは, 電圧降下とヒータ電力が大きいために能率が悪く大形になり, 保守も容易でない。トランスダクタを用いると高効率, 高信頼性かつ小形になる。これはテレビスタジオ用電源として有利である。トランスダクタは電源の整流回路に含まれ, 小形制御用真空管と, 真空管レギュレータにおける同様の直流増幅器によって駆動され, B 級真空管レギュレータを併用することによって, 速い変動にも応じ得るように工夫されている。

トランスダクタレギュレータと B 級真空管レギュレータをもった定電圧電源回路を第 1 図に示す。

トランスダクタの磁心は角形ヒステリシスループを



第 1 図 速応レギュレータの基本回路

もつ結果として, 交流入力に対してトランスダクタの直流出力は, コントロールバルブ電流の関数になるから, 直流出力電圧の変動を直流増幅器によって増幅し, これをコントロールバルブのグリッドに供給して, トランスダクタの出力電流をコントロールする。トランスダクタの入力, 出力の関係は印加電圧の時間に関する積分によって決定され, トランスダクタにおける電力消費は, 上の回路の場合 (1 A, 250 V, 最大銅損は約 10 W, 磁心損は 2~3 W であった。

次に第 1 図の V_1 , V_2 はプッシュプルレギュレータバルブであり, トランスダクタが応動しえないような速い変動を安定化する。

動作特性は次のようなものである。

出力電圧: 250 V, 最大平均出力電流: 1.12 A, 電源電圧範囲: $\pm 7.5\%$, 出力電流範囲: ± 125 mA, 出力変動率: 0.05%, 出力直流インピーダンス: 0.14 Ω , $L_{sc} \sim 1$ mH, $R_{sc} \sim 0.05 \Omega$, 入力: 6.0 VA。

(沢田, 松浦芳久)

10・460. ESS の中央制御装置

G.G. Drew: A Central Control for ESS.

[Bell Lab. Record, Vol. 38, No. 2, Feb., 1960, p. 49~53]

ベル研究所で試作した電子交換機 ESS (Electronic Switching System) では, 中央制御装置に主要な制御機能を集約し, 他の付随機能は分散化した構成をとっている。中央制御装置はいわば神経の中樞をなすもので, 各装置の情報の論理判断とともに翻訳および変換の機能も持っている。ESS は記憶素子として, フリップフロップの他にバリアグリッド蓄積管とフライングキャパシターストアを用いているが, これと中央制御装置が密接に結合している。バリアグリッド蓄積管は一時記憶素子で, ラインおよびトランクの状態の記憶とあるレジスタの記憶回路に用いる。フライングスロットスタアは半永久記憶素子で, 各種の接続過程の順序を蓄積している。中央制御装置に順次指令を与える。本論文はこのストアプログラミング方式による交換機の制御の説明をしており, この方式は回路構成を非常に簡明にしている。

第 1 図は ESS の中央制御装置の構成図である。こ

11-462. 磁化鉛の光伝導膜における 雑音と感度の関係

H. E. Spencer: Noise and Signal Response in Lead Sulfide Photoconductive Films. [J. appl. Phys., Vol. 31, No. 3, March, 1960, p. 505~510]

硫化鉛の光伝導膜におけるキャリアの濃度の変動に起因する G-R 雑音 (Generation-Recombination Noise) と光伝導の感度との間の Petritz⁽¹⁾ による理論関係を著者は実験的に確かめている。Petritz の理論によると G-R 雑音も感度も同じ τ/pd という量によって表わされる。ここには多数キャリアの寿命で、これは光伝導の時定数で与えられ、 p は正孔 (この場合の多数キャリアである) の濃度、 d は膜の厚さである。ここで固有感度および固有雑音というものを次のように定義することにする。

$$\text{固有感度 } R_s = \Delta G/GJ$$

ここに、 G : 光伝導膜のコンダクタンス、 ΔG : 光をあてたときのその変化分、 J : 入射する光 (ワット/cm²)

$$\text{固有雑音 } N_s = \Delta V_n (A/\Delta f)^{1/2} (G+G_r)^2 / GG_r E$$

ここに ΔV_n : 雑音電圧、 A : 光伝導膜の面積、 Δf : 測定する増幅器のバンド幅、 G_r : 負荷の抵抗、 E : かける電圧

Petritz によれば R_s および N_s は次のように表わせる。

$$R_s = R_s^0 / (1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}, \quad R_s^0 = \eta_s F (\tau / pd)$$

ここに F : 入射する光子の数、 η_s : そのうちで吸収される率、 ω : 光をチョップしたときの周波数

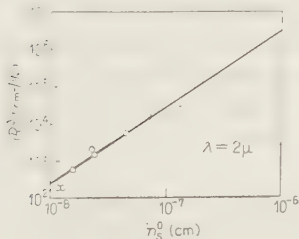
また

$$N_s = N_s^0 / (1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}, \quad N_s^0 = 2 (\tau / pd)^{1/2}$$

これらから R_s^0 と N_s^0 との間の次の関係が得られる。

$$R_s^0 = \frac{1}{2} \eta_s F \tau / pd$$

第1図は温度を変えたときの R_s^0 と N_s^0 との実験で得られた値をプロットしている。このとき用いられる周波数は 87 c/s、



第 1 図

のほうにあるが、これは $\eta_s=1$ としたこと、G-R

第 1 表 実験から計算した移動度

	Cell coolant	Room temp.	Ice Water	Dry iceacetone	Liquid nitrogen
Cell PbS -6-4	Approximate temperature (°C)	25	2	-66	-173
	R_{sq} (MΩ)	0.49	1.06	31	11
	τ (ms)	0.38	0.58	4.7	6.2
	μ_s (cm ² /Vs)	5.2	4.9	1.0	0.46
	pd (cm ⁻²)	2.4×10^{12}	1.2×10^{12}	2.0×10^{11}	1.2×10^{12}
Cell N 179 -8-4	Approximate temperature (°C)	25	2	-66	-173
	R_{sq} (MΩ)	0.56	1.1	19	83
	τ (ms)	0.045	0.095	0.86	3.7
	μ_s (cm ² /Vs)	4.6	3.3	0.55	0.062
	pd (cm ⁻²)	2.4×10^{12}	1.8×10^{12}	6.0×10^{11}	1.2×10^{12}

雑音以外の雑音を考えていないことによる。

この他 Spencer⁽²⁾による式

$$pd = 1 / \mu_s e R_{sq}$$

ここに R_{sq} : 膜の 1 cm² の面積の抵抗

から移動度を導き他の量とともに二つの試料について第1表に示している。

また、硫化鉛の膜の場合常温程度の周囲からの波長の長い光の放射の影響が大きいことが示されている。

(鳩山, 飯島 茂)

文 献

- (1) R. L. Petritz: Phys. Rev. **104**, 1508 (1956)
- (2) H. E. Spencer: J. appl. Phys., **30**, 927 (1959)

11-463. 紙コンデンサ用の 新しい含浸剤

L. Bersody: New Impregnation for Paper Capacitors. [Trans Inst. Radio. Engrs on Component Pt. cp-7, No. 1, March, 1960, p. 15~25]

紙コンデンサに対して含浸を行う際、含浸剤について要求される条件を列記し、種々の樹脂を含浸して得られたコンデンサの特性を要求条件に基づいて検討している。特性の測定は -50~+60°C、60~10°C/s の範囲における容量および誘電正切、絶縁抵抗について行っている。

シリコン含浸の場合はメチルシリコン、メチルフェニルシリコン、メチルエチルシリコンの3種の樹脂を用いて行った。樹脂の誘電率の差はコンデンサの容量にほとんど影響しないが、安定性、接着性などの見地からメチルフェニルシリコンが含浸には最適である。シリコン含浸コンデンサの特長は耐水性にあり、25°C、65% R.H. の状態で6日間放置しても特性の変化はない。含浸操作についても述べられている。

含浸剤としてポリビニルカルバゾールもすぐれており、その誘電率および誘電損失は周波数、温度にほとんど依存しない。したがってこの物質で含浸したコンデンサは非常に安定な高性能を持っている。ポリビニ

ルカルバゾールの欠点はその毒性にあるが、溶液含浸を行うことによってそれも避けられる。

ポリイソブチレンは分子量 6,000~9,000 で 5~10% 以下の分岐しか持たないものが含浸には最適であり、非常に安定なコンデンサが得られる。ポリイソブチレンとポリエチレンの混合物もすぐれた含浸剤であり、その組成はポリイソブチレン(分子量 6,000)65, ポリエチレン(分子量 10,000)35 が最適である。

注形樹脂も含浸に使われていて、ここではポリエステル樹脂と 3 種のエポキシ樹脂とが検討されている。これらは誘電率が高いことと、含浸は同時に表面被覆にも役立つことが特長である。しかしこれらは誘電損率がかかなり大きい。誘電損率が小さい高周波用注形樹脂として、スチレンとジビニルベンゼンおよび無水マレイン酸を主成分とする共重合物が検討されている。この物質で含浸したコンデンサはポリイソブチレンあるいはポリエチレン含浸コンデンサと同程度に安定ですぐれたものであり、105°C までの使用に耐える。

スチレン単量体で含浸したのち、重合させる方式についても述べられている。これは最良の電気特性を示すが、スチレン単量体の酸化がきわめて早く、その結果特性が低下するので製造条件が非常にむずかしい。

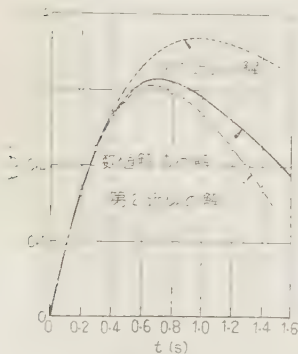
[中島(達), 斎藤省吾]

13・464. 自動制御における非線形問題の取り扱いについて

P.J. Nowacki: Die Behandlung von nichtlinearen Problemen in der Regelungstechnik. [Regelungstechnik, 8. Jahrg., Heft 2, Feb., 1960, S. 47~50]

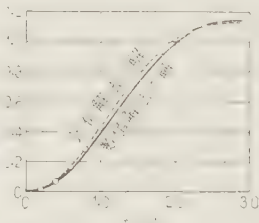
自動制御系の解析において、非線形微分方程式を解く必要が多い。本論文はこれら非線形微分方程式を、ラプラス変換を使い、近似的に解く二つの方法を説明している。実際に自動制御の分野で現われた二つの非線形微分方程式をこの方法で解き、数値解法の結果と比較して、この方法が充分役立つことを示している。

第一の例は、一次遅れの制御対象を、利用が誤差の二乗で変化する $P-I$ 調節計



第 1 図

微分方程式 (1) の解



第 2 図

微分方程式 (4) の解

で制御する自動制御系であり、その微分方程式は (1) 式で表わされる。

$$\ddot{x} + 2\dot{x} + x = -ax^2 - bx^2 \quad (1)$$

(1) 式を変形して

$$\ddot{x} + 2\dot{x} + x = -ax^2 - bx^2 \quad (2)$$

(2) 式の両辺をラプラス変換して

$$(s^2 + 2s + 1)X(s) = sx_0 + 2\dot{x}_0 + \dot{x}_0 - \mathcal{L}(ax^2) - \mathcal{L}(bx^2) \quad (3)$$

(3) 式の左辺において、非線形部分のラプラス変換したところを無視して、(3) 式を解き、次にその非線形部分に代入して解を求め、この換をくり返すことにより精度を上げる方法である。 $a=b=10$ とし、かつ $x_0=0$, $\dot{x}_0=1$ の条初期条件の下に (1) 式の数値解法の結果と比較して第 1 図に示す。第 2 近似の解の相対誤差は 2.24% であり、反復をくり返して、精度をさらに上げることができる。第二の例は (4) 式の微分方程式で表わされるものである。

$$\ddot{x} + 2\dot{x} + x = f(x) \quad (4)$$

(4) 式を書きなおして、

$$\ddot{x} + 2\dot{x} + x = f(x) \quad (5)$$

ここで $f(x)$ を x の小さな範囲では一定と考え (5) 式をラプラス変換して解を求め、その解より次の範囲 $f(x)$ を求め、解をつないでゆく方法である。初期条件として $x_0=0$, $\dot{x}_0=0$ として解を求め第 2 図に示し、数値解法の結果と比較する。

[長谷川, 桑原 彰]

13・465. 制御系における磁気装置

H. Bley: Magnetiksysteme in der Regelungstechnik. [Regelungstechnik, 8. Jahrg., Heft 2, Feb., 1960, S. 51~55]

本論文は磁気飽和の原理に基づいて動作する制御要素を不連続、準連続および連続の 3 グループに分類し、それぞれについて実例をあげながら説明している。ここで述べられているものは、磁気材料の記憶特性として応用されたものである。その代表的なものは次のようである。

(1) 不連続調整器 磁気材料の記憶特性を利用してスイッチ作用を行わせるもので、多端式スイッチオン方式とに分類される。

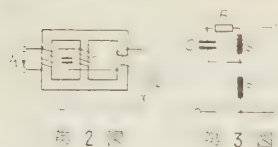
(2) 準連続調整器 同期的振動を伴って制御を行う一種の 2 位置調整器であって制御量の著しい振動が起らないならば連続調整器とみなされる。(第 1 図)



第 1 図 準連続制御による定電圧装置

(3) 連続調整器

(a) 制御巻線なしの可飽和リアクトルによる装置



第 2 図



第 4 図

を直流電圧調整に応用したものである。

(b) 制御巻線付の可飽和リアクトルによる装置

制御巻線に流れる直流励磁電流の変化で装置の動作点を変えることにより、制御を行うものでその原理図は第 5 図に示す。



第 5 図

(c) 磁気増幅器による装置

前述の可飽和リアクトルの代わりに磁気増幅器を用いたもので、精度が高く、電源の周波数変動に無関係である。

また、そのほか、磁気抵抗変化によって信号を伝達する可飽和単巻伝達装置、位相検出装置、磁気リング変調器などがあげられている。(長谷川)

14-466. NRU の汚染とその除去

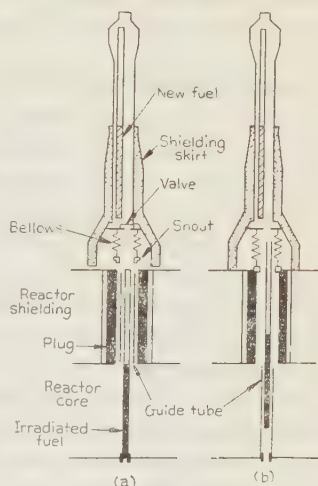
E.O. Hughes & J.W. Greenwood: Contamination and Cleanup of NRU. [Nucleonics, Vol. 18. No. 1, Jan., 1960, p. 76~80]

1958 年の 5 月 23 日にカナダ、チョークリバーの NRU 原子炉は出力急昇のためスクラムされ、冷却材中の放射能の異常な増加を示す警報がなりひびいた。しばらくして、燃料の急激な破損による圧力急変の信号が現われた。この破損燃料の変換作業中に、炉室およびその周辺の大規模な汚染事故が生じた。

この原子炉で使用されている燃料交換装置は第 1 図のようなものであるが、この Guide tube が破損燃料被覆にふれたので、Plug を燃料要素と Guide tube と一緒に移動しようとし、そのために大きい Bellow と Snout を取りつけた。しかし予想に反して重水が Flask から抜け、Rod が Flask 内に上がってしまった。この際過熱した燃料を炉内にもどし、あるいは冷却材で冷やすことは不可能であり、緊急冷却装置のあるブリッジに移動する途中燃料が燃えはじめたらし

く、保持ビット上で、高放射線燃料約 3 ft がビット中に落下し、紙その他に燃え移った。また、原子炉上部より煙が出、調査の結果、原子炉底に破損燃料の下部 4 ft が落ちて燃えていることがわかった。

以上が事故のあらましで、この結果、ビット周辺の線量は計器がふり切れて測定できず、1,000 r/h 以上と推定された。作業員は湿砂をかぶせて燃料の火を消し止めたが、この間に浴びた最高線量は 3.3 r であった。



第 1 図

燃えている燃料破片をビットから除去するために、木製の容器に砂を入れて運搬したが、クレーン作業員は 5~10 r/h の線量を浴びるので、2 min ごとに交代させなければならなかった。全作業が終了するまでに 35 人が参加し、被爆平均線量は 1.4 r、最高 6.4 r であった。これが、周到な計画とあらゆるしゃへい体を最大限に利用した結果である。しかし、それ以後の除染作業は年間 5 r の許容量を守る限り NRU 従業員で行うことは不可能であった。5 月 25 日に非放射線従業員 40 人を動員して、汚染砂除去作業を行ったが、各人 5 r の割当てで、1.5 min ずつの作業であったが、14 人が 5 r をこえ、10 r 被爆が 2 人、19 r 受けたものが 1 人あった。

事故後原子炉上 2 ft で 1,000 r/h、床上 100 r/h で、落下した燃料破片は全放射性物質 2×10^5 キュリー、1 ft 四方の土壌に、Plug を 13 g 含んでいた。

事故 1 h 後に原子炉建屋から 100 yd 離れた所での空気汚染は $200,000 \text{ dpm/m}^3$ で 12 日後の炉室内空気の汚染は $1 \sim 2 \times 10^5 \text{ dpm/m}^3$ であった。

この事故による汚染除去作業は緊急時組織を編成し、軍隊、国防隊の援助をうけ、6 週間の間 1 日 70 人ずつ動員して行われたが、その詳細な作業内容が報告してあるので、原子炉事故対策を考えるのにきわめて有用な文献である。(北村、片岡照栄)

15-467. スペクトル概念の物理的類語

H. M. Trent: Physical Equivalents of Spectral Notions. [J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 32, No. 3, March, 1960, p. 348~351]

物理的に重要なある種の関数は、有限項の特別関数

で近似できることは Fourier 以来よく知られている。この近似法は項を多くするほど正確になり、近似関数の全体での位置を表わす数値と、関数の大きさを示すものとの少なくとも二つのパラメータで特性づけられる。

この概念の数学方面との関係は深いものがあり、中に表われてくるパラメータを決定するために、物理実験を工夫して役立たせる。このような概念的実験はおそらく衝撃スペクトラムを除いては普及されていないようである。本文の目的は Fourier, 衝撃, Laplace 各スペクトルの中に現われるパラメータの意義を理解するために考察を行うことである。

考へる対象を、研究用と探査用とに実際記録される関数のスペクトル部門に制限する。このような記録のいくつかの共通性からそのスペクトルを Fourier と、Laplace との両方で表わすことができ、線スペクトラムで実際の記録を正確に表わすことはできないが、連鎖スペクトルで表わすことができる。

いま一つの衝撃試験系について例をとり、10年間もの実験研究ではもっぱら Fourier スペクトルで終止したが、この系では応答として運動の蓄積より以上のもの

のを望むことができないことを知りつくしている。かような不完全さはスペクトル概念の別な形のものを強く要求しているように考えられる。一方、数年の間衝撃スペクトルがよく使用されるが、最近は速度形衝撃スペクトルが盛んに利用されるようになった。Fourier や衝撃のスペクトルの物理的意義をわかりやすくするために理想化された対象系では制動項がない。実際の構造物には必ずある形で制動の項を含んでいるから、このような対象系を考へて Laplace スペクトルをみると、十分に発展したところまでとはいっていないが、さらに正しい方向に前進していることは確かである。

いろいろと考察を進め計算機により計算を行って Fourier, 衝撃, Laplace のスペクトルを比較検討した結果

(1) 衝撃スペクトルは Fourier のよりも小さくならず、一般的に大きく表われる。

(2) Laplace スペクトル中制動の項を零にして、特別な場合は Fourier スペクトルになる。

などの点を指摘して、この種スペクトル概念の明確な確立を希望し、多くの暗示を与えて文を結んでいる。(北村, 小畑耕郎)

特 許 紹 介

97. リード形継電器

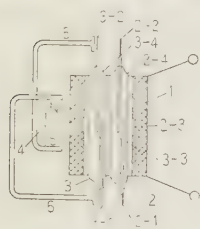
特許 255879 (特公 昭 34-3831)

発明者 大和茂樹

特許権者 日本電気

従来、リード形継電器では一つの励磁コイルによりメーク接点とブレーク接点を同じに備えることは不可能であったが、この発明はそれを可能としたもので、第1図に示すように励磁コイル1の外部に永久磁石4を設け、1個または1個以上のリードユニット3に対し補助極5、6にて強い磁束を与え、閉路状態として

ブレーク接点を構成させ、他のユニット2に対しては補助極5、6からの漏れ磁束と永久磁石4からの漏れ磁束が互に打ち消され、リードユニット2内には磁束が流れないように、レメーク接点を構成させたことを特徴としている。



第1図

リードユニット3の接点3-3は常時開放しており、他のユニット2は前述のように漏れ磁束が打ち消されているため接点2-2は常時開放している。いまリードユニットの3-2側にS極が生ずるよう励磁コイル1に電流が流れると、ユニット3の磁束は打ち消され、

その接点3-3は開放し、ユニット2は磁束を増大し接点2-2を閉じる。したがって、一つのコイルによりメーク接点とブレーク接点を備えたリード形継電器を小形に製作できる。

98. 磁気増幅器装置

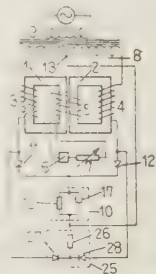
特許 260349 (特公 昭 34-8632)

発明者 Fred W. Kelly, Jr. & Clifford M. Siegel

特許権者 G. E.

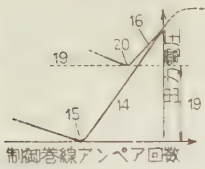
この発明は逆起電力を生ずる負荷の付勢用に適した磁気増幅器に関するもので、第2図に示すように、従来の自己帰還形磁気増幅器回路に負荷10のインピーダンスを挿入し、インピーダンスを小さく抵抗値を高くし、負荷26を、整流器27、28と出力巻線3、4を介して交流電源に接続するようにしたことを特徴としている。

従来の自己帰還形磁気増幅器は抵抗または時定数の小さい負荷の場合は十分に動作するが、大きい逆起電力を生ずる負荷、たとえばコンデンサなどに対しては第3図の16に示



第2図

ように、信号は出力を広い範囲にわたって制御することができない。この発明のように補助回路を設ければ、制御電流に対応してリアクトル鉄心を正確に飽和させるのに必要な出力電流を引き出すことができ、第3図の14に示すような増幅特性が得られる。またこの回路は整流器11、12で主負荷と隔てられているので、整流器の出力電圧よりも主負荷の逆起電力が大きくなるような場合に、その超過分を並列抵抗18を介して迅速に消散させることができるから、動作速度も改善することができる。



第3図

この発明は移動する目標体の進路上を見越して、移動体を自動的に目標体に接近させる見越しホーミング方式に関するものである。

99. ホーミング方式

特許 260701 (特公 昭 34-8689)

発明者 関本忠弘

特許権者 日本電気

この発明は移動する目標体の進路上を見越して、移動体を自動的に目標体に接近させる見越しホーミング方式に関するものである。

第4図で、目標体と移動体とが距離 D 隔たった A と a からそれぞれ速度 V と v で AO 方向へ進行しているとき、移動体から電波を放射し目標体からの反射波を受信すると、送信波の周波数と受信波のそれとの間にいわゆるドブラ効果に基づくずれを生じる。この偏差量 β とドブラ量 d_0 は次式で表わす

$$d_0 = k(-V \cos \alpha + v \cos \beta)$$

次にこのドブラ量中から移動体自身の速度成分による量を差し引いた有効ドブラ量 D_0' の時間的变化 D_0' を求めると、 $D_0' = KV \sin \alpha \, d\alpha/dt$ となる。ところで、 $d\beta/dt = (V \sin \alpha - v \sin \beta)/D$ および $d\beta/dt = d\alpha/dt$ という関係があるから

$$D_0' = KV \sin \alpha (V \sin \alpha - v \sin \beta)/D$$

と表わせる。有効ドブラ量の時間的变化量 D_0' が零となるように β をすなわち移動体を制御すると、 $v \sin \beta = V \sin \alpha$ となり、これは移動体が目標体の進路上の一点 O で遭遇する条件となる。そして $D_0' = 0$ のときの β_0 の値が二つあるときがあるが、それぞれの β_0 値のときのドブラ量 d_0 の正負を求めると、 $d_0 > 0$ のときの β_0 は目標体と移動体とが遠ざかる状態に相当するものであるから、 $D_0 = 0$ であるとともに $d_0 < 0$ という β_0 の方向が正しい見越し角である。要するに、

この発明は目標体と移動体との間のドブラ量と、その量から移動体自身による量を差し引いた有効ドブラ量の時間変化量とから見越し進路を決定するものである。

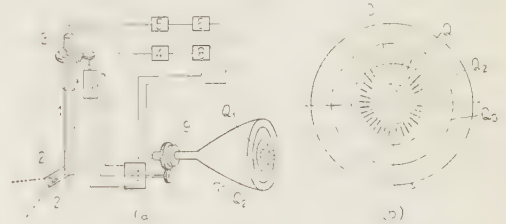
100. 魚群の進行方向検知方法

特許 260502 (特公 昭 34-8695)

発明者および特許権者 平野正勝

この発明は魚群の位置をあらかじめ任意の方法で探知したのち、その魚群の捕獲を確実にするため、魚群の進行方向を検知しようとするものである。

一般に群をなして進行する魚類に種々の角度から超音波を投射した場合、その反射波の強さは進行方向に対して直角の場合が最大で、次いで進行方向に反対の角度から投射した場合、最小が進行方向に一致した場合である。そこで第5図(a)で、主軸1に適当な角度で取り付けられた送受波器2、2'をその軸のまわりに、ブラウン管偏向コイル9と同期して回転させ、一方受



第5図

信波の強弱に応じて掃引信号を抑制するようにすれば、進行中の魚群による反射波像は(b)図のような馬蹄形形状に現われる。すなわちその図形で、輝度の低い突出部の方向が魚群の進行方向を示すことになる。

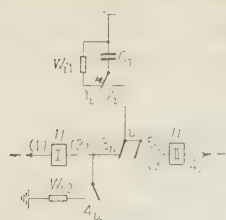
101. 間隔動作継電器

特許 259923 (特公 昭 34-8910)

発明者 Kurt Wammetsberger & Jhann Seidlmeyer

特許権者 Siemens & Halske

この発明はコンデンサによって制御された間隔動作と保持巻線を持つ動作継電器に対する接続方式である。この発明について説明すれば、第6図(a)のようにインパルス接点の動作の際、静止状態でインパルス接点の静止側1rと放電抵抗 W_{11} とを介して短絡されたコンデンサ C_1 は、継電器 U の静止接点 $3u$ と励磁巻線 UI を介して充電され、この継電器 U は接極子動作後自己の動作接点 $4u$ を介して保持され、かつ復旧巻線 UII をこの巻線がインパルス接点の新たな動作のさい励磁されるように、あらかじめ接続するコンデンサによって制御された励磁巻線と保持巻線を持つ間隔動作継電器に対する接続方式である。この発明によれば、従来公知の間隔動作継電器におけるコンデンサ



第 6 図

に励磁巻線と保持巻線との直列回路が、動作中は作成されないすぐれた効果を表わすものである。

102. 姿 態 フィ ル タ

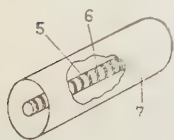
特許 258892 (特公 昭 34-8911)

発明者 小口文一

特許権者 電電公社

円形導波管内に TE_{01} 姿態を伝送する場合に使用される姿態フィルタとして、従来、環状導体をギャップを隔てて並べ、このギャップ部分に損失誘電体をそう入して、 TE_{0m} 以外の姿態を吸収するものが普通に使われているが、これは不要姿態に対する減衰定数を大きくとりにくい欠点があった。

この発明は第 7 図に示すように、導体 5 と損失誘電



第 7 図

体 6 とを交互に配置して環状に形成し、これを内部導体として外部導体 7 とともに同軸導波管を形成し、軸方向と周囲方向の導電率に大きな差を与えたものである。このように構成すると、同軸導波管の $TE_{nm}(n \neq 0)$ 、波は内外導体の直径比があまり大きくならない場合は軸方向の電流密度は内部導体のほうが大きいから、従来のものに比較して TE_{0m} 以外の姿態に対する減衰を大きくとることができる。

103. バ リ ス タ

特許 258709 (特公 昭 34-9030)

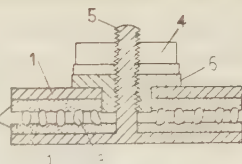
発明者 浅野 勝

特許権者 電電公社

この発明は高温熱処理を要しない簡単なバリスタの構造に関するものである。従来の半導体粒子と電極との結合は合金焼結し、溶融金属を吹き付け電極を構成するバリスタは、機械的強度などにより低い抵抗のものの製造に限度があり、さらに低い抵抗のものを必要とするときは、上記粒土質結合剤中にカーボンなどの導電性粉末を混入しているが、カーボン分布の不均一性はバリスタ特性のばらつき電流分布の不均一などを生じやすく、また溶融金属を吹き付けて電極を形成する際、その金属の酸化により接触抵抗が増加するな

どの欠点があった。

この発明はそれらの欠点を除くため、第 8 図に示すように電極 1、1 間にそう入された軟金属板 2、2 間に半導体粒子 3



第 8 図

を挟持し、その粒子の一部を軟金属板中に圧入固定し、その電気的特性を挟圧力と半導体粒子の分布状態により調節するように構成したものであり、機械的に簡単、強固で高温熱処理の必要もなく、結合剤カーボンなどを使用しないから安価で、かつ電流分布の均一な抵抗値が非常に小さい所望のものが得られる。

104. 半導体整流器保護方式

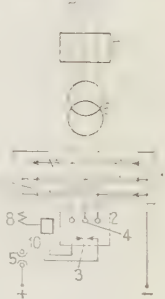
特許 260477 (特公 昭 34-9516)

発明者 草野光男, 滝田義介, 保坂守雄

特許権者 明電舎

半導体整流器は非常に過電流耐量が小さいため、過電流事故の場合には何らかの方法で健全素子を通る故障電流とその流通時間を制限しなければならない。従来は整流器の交流側を高速度短絡器により短絡し、故障電流を分流させてから、電圧変動を抑制し、短絡器により整流器を回路から切り放す方式がとられているが、この方法は機械的短絡機構を使用するため、数ミリ秒程度の時間を要する欠点がある。

この発明では第 9 図に実施例を示すように、過電流が発生すれば装置 8、9 でこれを検出し、起動装置 10 によって起動極 3 に初アークを与える。するとそのアークは主短



第 9 図

絡電極 4 間に移行して半導体整流装置 1 の交流側をアーク短絡し、過電流を整流器側から分流し、同時にその放電電流により交流側シャ断器 7 と直流側シャ断器 5 を動作させ、整流器を保護するのである。

105. 同期発電機の負制動防止装置

特許 260472 (特公 昭 34-9520)

発明者 西本和成

特許権者 四国電力

同期発電機の並行運転に際し、通常の乱調現象とともに負制動現象による乱調のため、運転の継続を困難にすることがあり、この負制動現象に対する理論的説明はすでになされている。このような負制動現象による乱調は、電力系統の末端に多く散在する小水力発電

所において、発電所と変電所間の線路抵抗分が比較的大きい場合に、軽負荷時の発電機の制動トルクが負となることにより発生する。

この発明は、上記のような負制動現象の発生する発電所から変電所までの間に、転負荷運転時電流の平方根に反比例し、その比例定数が線路抵抗と系統電圧の積の平方根にほぼ等しいような値に選らんだインダクタンス分をそう入し、負制動現象を防止しようとするものである。

負制動現象の理論によれば、発電機内部誘起電圧の位相角 δ が、線路の抵抗を r 、線路のリアクタンスを X 、発電機横軸分リアクタンスを X_q としたとき、 $\phi = \tan^{-1}[r/(X+X_q)]$ で表わされる角度 ϕ よりも小さくなったときに生ずる。

いま、線路にそう入するインダクタンス分として、 $X = K \cdot i^{\alpha}$ で表わされるものをそう入すると仮定して、上記 $\delta = \phi$ の条件から転負荷運転の省略法を採用して計算すれば、必要なインダクタンス分として $X = \frac{E_t}{i}$ となる。(E_t : 系統電圧, i : 発電機出力電流)

従って、線路のインダクタンス分として転負荷運転時に発電機電流 i の平方根に反比例し、その比例定数が線路抵抗 r と系統電圧 E_t の積の平方根に等しいインダクタンス分を線路にそう入すれば、負制動を防止できる。

106. 三相発振器

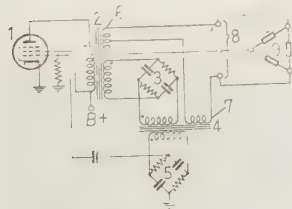
特 許 第 260599 (特公 昭 34-9613)

発明者 川西健次

特許権者 川西健次, 外 1 名

この発明は、高効率の三相発振器に関するものである。

従来、三相発振器の発振管 1 の陽極出力は変成器 2、移相器 3、変成器 4、移相器 5 を経てその格子入力に帰還されておられ、移相器 3、5 は 90° の位相回転を与えるので、この回路は自励発振が行われる。6 と 7



第 10 図

のようにすれば、コイル 6 と 7 の各誘起電圧はほぼ 90° の位相差を持ち、その出力の比は $2:1:\sqrt{3}$ であるから、その出力端子 8 には三相発振出力が得られる。

この発振器は前述のように、1 個の電子管と変成器および移相回路の組み合わせだけで安定なる三相出力

を取り出し得るものであるから、実用的効果が大きい。

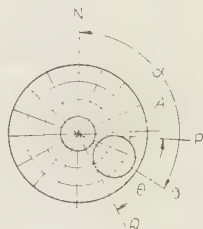
107. 空中線の運動範囲自動制御方式

特 許 第 260599 (特公 昭 34-10079)

発明者 滑川孝六

特許権者 日本無線

この発明は、レーダアンテナの運動範囲を所望の角度内に限定し、その間を往復して運動するように自動的に制御させるものである。以下第 11 図によって説明すれば、従来 PPI 表示されている映像の一部 A を拡大して指示させる場合に、このような表示装置では、空中線の連続回転のために映像指示角度 θ 以外で拡大表示用ブラウン管には映像が現われず、むだな時間を生じるから、その欠点を除くために、空中線の運動を角度 θ の範囲だけに限定して往復させれば能率がよい。この動作を自動的に行わせるために、拡大表示用ブラウン管の掃引と同期して掃引される他の制御用ブラウン管を設け、制御用ブラウン管は残光性が小さく、ビデオ電圧を加えないで映像を現わさず走査線だけを表示させ、各掃引によって発生した光を光電装置によって電気信号に変換する。この電気信号は、空中線の運動が角度 θ の範囲からはずれて走査線が消滅すれば、やはり電気信号も断されるから、電気信号の断続によって空中線を駆動するサーボモータの回転方向を逆転させれば、空中線は所望角度範囲を往復運動する。したがって、いかなる映像方位や角度も選出拡大した場合でも、空中線の旋回方位を常に映像内に捕捉し、映像に追従させて扇形走査を行わせることができる。



第 11 図

108. 姿態変換器

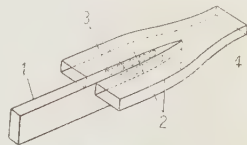
特 許 第 261040 (特公 昭 34-10718)

発明者 山口和男, 飯口真一

特許権者 電電公社

方形導波管から円形導波管内に円形 TE_{01} 姿態を励振する場合、まず方形導波管の基本姿態である TE_{10} 姿態波から方形導波管における TE_{20} 姿態波を作る必要がある。

この発明はその姿態変換器に関するもので、第 12 図に示すように、 TE_{10} 姿態波だけを伝送する方形導波管 1 の幅広い左右両管壁に、2 個の方形導波管 2 の幅狭い管壁を共通にし、



第 12 図

この共通壁に左右対称になるように数個の結合孔 3 を設けて両導波管を電気的に結合させ、さらに、方形導波管 2 は方形導波管 1 の末端で幅狭い管壁を合致させて単一の方形導波管 4 とし、その幅広い管壁幅を方形導波管 1 の幅広い管壁幅のほぼ 2 倍になるようにした

ものである。このように構成すると、方形導波管 1 から方形導波管 2 内に誘導された波はそれぞれ幅は等しく逆位相であるから、導波管 4 の部分で TE_{20} 変態波を形成することができる。

ニ ュ ー ス

◆ 昭和 35 年度電源開発基本計画決定

政府は5月31日、第29回電源開発調整審議会を開き、昭和35年度電源開発基本計画を決定した。この計画は、昭和34年12月第28回電源開発調整審議会で決定された長期計画（昭和34年度以降38年度末までに約1,049万kWの開発を完成する）の一環となるもので、最近における電力需用のうす勢を勘案し、長期電源開発計画の達成と電力原価の長期安定化を基本として、継続工事分577万kW、新規着手工事分224万kWの開発を行うこととしている。

水力地点についてはピークロードを負担する貯水池式および調整池式の開発に重点をおき、当該地点の電力経済性と総合開発上の効果などを考慮するものと

第1表 昭和35年度新規着工予定地点

	企業名	地点名	増加最大出力 (kW)	完成時期
水	北海道電力	春 別	27,000	38-11
	東北電力	大所川第一	13,500	37-7
	東京電力	矢木沢	210,000	39-11
	中部電力	久々野	34,400	37-11
	北陸電力	馬場島	21,000	37-3
	関西電力	天ヶ瀬	48,000	37-11
	"	新黒部川第三	56,000	38-9
	"	王 竜 川	34,000	37-11
	九州電力	杉 安	11,500	38-5
	栃木県	風見	10,200	39-3
	群馬県	園 原	10,000	38-4
	富山県	仁 歩	11,000	37-7
	宮崎県	立 花	12,900	38-4
	荒川水力電気	岩 船	11,500	36-12
火	昭和電工	三峰川第一	21,600	37-2
	京久島電工	安房川第一	12,300	37-3
	電源開発	本 別	25,000	37-11
	"	田子倉 (増)	95,000	36-11
	"	二 父	72,100	37-11
	"	魚 菜	32,000	39-11
	北海道電力	滝川3期	75,000	37-1
	東北電力	仙台3期	175,000	37-11
	東京電力	横 浜	350,000	37-10 37-11
	中部電力	三重4期	125,000	36-12
力	"	新名古屋4期	220,000	37-11
	関西電力	尼崎第三	156,000	38-7
	中国電力	新宇部3期	"	37-7
	常磐共同火力	勿来4期	75,000	36-12
	信大川電	新居内西4期	"	37-9

し、火力については電力供給の増進を図るため大規模地点に重点をおくこととし、また、特に、石油専焼火力を建設することとして、る、また、送変電設備については、電源工事の進展に伴って、送電設備に対応する送変電設備の増設工事および変電設備の増設から地帯間連系システムの整備に重点をおき、送電設備については配電電圧の6kV化の促進を図ることとしている。

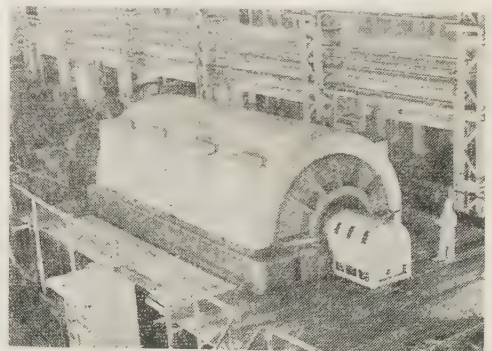
基本計画の概要は、電源工事地点の総出力801万kW、所要工事費は約3,423億円で、また、発電設備の年度別完成状況は35年度227万kW、36年度220万kW、37年度230万kWで、35年12月ピーク時で7.8%、36年12月11.5%、37年12月14.0%の供給予備力を想定している。

新規着工地点のおもなものは第1表のとおりである。

◆ 東洋最大 281,600 kVA タービン発電機

中部電力会社新名古屋火力発電所3号機用として、220,000 kW タービンが先ほど工場完成し、今度これに直結される発電機も東京芝浦電気で完成し、7月26日現地へ納入された。

この発電機は回転子直立式を採用したため非常に小形になり、寸法および重量は普通立式の150,000 kW とほぼ同様である。回転子表面には軸方向に吸入孔グループと排出孔グループが交互に配置され、冷却水素ガスは回転によるポンプ作用で吸入孔グループより回転子導体内部にはいる。導体は断面の異なった2個を組み合わせた中空導体で、この中をカ



スが通過して冷却し、排出孔より放出されるもので、吸入および排出孔が軸方向に交互に配置されるため、導体の温度上昇はほぼ均一に保たれ、また、特殊な通風装置を必要とせず、水素ガス圧力も従来2気圧で充分で風損が増加せず、きわめて良好な効果があげられた。固定子は普通水素冷却方式であるが、巻線は漂遊負荷損を小さくするため、レーベル転位でない特殊の巻線転位を施し、鉄心押板、コイル支持金物などはすべて非磁鋼で、さらに銅板シールドを使用し回転子エンドリングも非磁鋼を採用した。単相および不平衡負荷保護用としては制動巻線を備えたことなどの特長が

定格以下に記すことである。

形式：水素冷却（回転子直接冷却式）制動巻線付、相数：3、極数：2、出力：281,600 kVA（水素圧力 2 kg/cm²g）、回転数：3,600 rpm、端子電圧：12.6 kV、力率：0.85、周波数：60 c/s、短絡比：0.62、励磁電圧：375 V

◆ エレファント変圧器

エレファント変圧器とは、ケーブルを直接変圧器のタンク中にそう入して、油中で変圧器の中身と接続し、空中ブッシングを省略した構造の変圧器をいう。市街地の屋内変電所や山間部の地下発電所などで、電力ケーブルを使用する場合、従来のものでは変圧器とケーブルヘッドを空中で接続するのが通例であったが、気中では大なる絶縁距離を必要とし、敷地面積が増大するので、最近ではこのような場合にはエレファント変圧器が多く使用されている。

第 1 表

出力(kVA)	相 数	一次電圧(kV)	周波数(c/s)	台数	納入先	製造者名
300,000	3	14.5	50	1	東京電力	芝 士
150,000	"	275	"	"	"	富 士
133,000	"	15	"	3	電源開発	東 芝
100,000	"	142	"	2	東京電力	"
50,000	"	77	60	1	中部電力	明 電
45,000	"	66	"	"	八幡製鉄	三 菱
31,250	"	"	"	"	"	"
30,000	"	60	50	2	東京電力	東 芝
"	"	100	"	1	"	"
15,000	"	6.3	"	"	日本鋼管	富 士
"	"	70	60	"	東海陸安	三 菱
"	"	63	50	"	東京電力	東 芝
12,500	"	9	60	"	富士交機	富 士
"	"	"	"	"	富士製鉄	"
12,000	"	66	50	2	東北パルプ	三 菱
10,000	"	63	60	1	住友化学	富 士
"	"	20	"	"	東都製鋼	"
"	"	60	50	"	東京電力	東 芝
9,160	"	11.5	60	4	日本軽金属	富 士
7,500	"	66	50	1	北海道電力	日 立
"	"	7.5	"	2	日本鋼管	富 士
6,250	"	9	60	1	富士製鉄	"
5,000	"	6.6	50	"	日本鋼管	"

この変圧器の特長は

(1) 空間利用率の向上 従来の変圧器にくらべて充電部がすべて油中に収納されているので、建物に対する制限もなく、すえ付け空間が非常に少なくて済む。したがって地下発電所、ビル変電所、市中変電所用として最高である。

(2) 塩じん害の防止、事故率の減少 露出充電部がないので塩じん害のおそれが全くない。そのうえ異物のそう入その他によるフラッシュオーバー事故は皆無で、感電事故防止用として最適である。

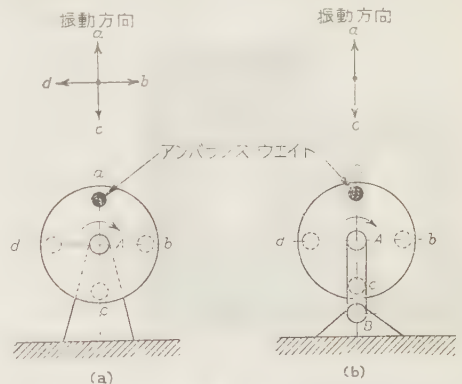
最近製作された大容量（5,000 kVA 以上）のものの実例を示すと第1表のとおりである。

◆ 粒状物処理用振動形電動機

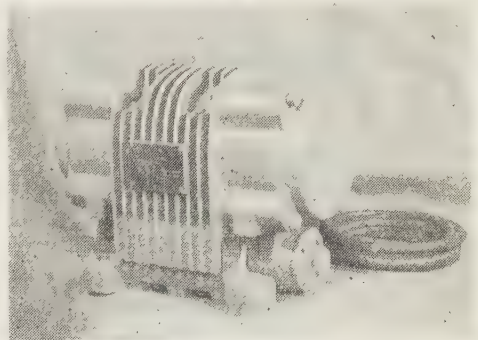
安川電機では、粒状物質の充てん、圧縮、流出の促進または運搬などに使用する振動形電動機を完成し、ユーラスモータの商品名で発表した。

この電動機は、回転子軸の両端に調整可能なアンバランスウェイトを取り付け、この遠心力によって生ずる振動力を、取付台に垂直な一方のみに取り出せるような特殊な構造となっている。

この動作原理を説明すると、第1図で、(a) 図はもっとも簡単な回転アンバランスウェイトによる振動機械で、Aを軸とする回転体にアンバランスウェイトをつけ回転させると、ウェイトの位置により遠心力は α



第 1 図



$a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ 和移ってゆく。これが振動となって現われ取付台に伝達される。このように全方向に現われる振動から垂直振動だけを、取りだすため、(b) 図のように支点 B を設け、 bd の方向に生ずる振動を支点 B を中心として、回転体が振り運動することにより打ち消し、取付台には ac 方向の振動だけが伝達される。

今回完成の電動機(写真参照)の定格は次のとおりであるが、出力 0.75 kW、振動力 2,000 kg のものも下試作中である。

振動力 (kg)	時間定格	出力 (kW)	同期回転数 (rpm)	電圧 (V)	周波数 (Hz)
0~600	連続	0.4	3,000/3,600	200/220	50/60
800~1,000	1h				

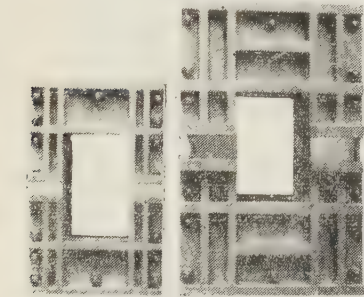
◇ ホール効果応用の直流大電流計

数万アンペア以上の直流大電流を測定する場合、従来は、分流器または DC、CT が多く用いられていた。オリジン電気では、最近、ホール・ジェネレータを磁界中に置き、直流を通電したときに生ずるホール起電力により、大電流を測定するホール電流計を開発した。

ホール電流計は写真のように、中央に母線貫通させる穴が設けてあり、ヨークは上下に 2 分割され、その両接合部にホール・ジェネレータがそう入してある。ホール・ジェネレータは、サーミスタと一体に組込まれていて、 -10°C から $+40^{\circ}\text{C}$ の範囲にわた

って、温度補償を行っている。

動作原理は大電流を通電する母線の周囲に、母線を取り囲むように設けた空けき入り鉄心のヨークが、大



電流によって磁化され、空けき部には被測定電流に比例した磁束が生じ、これがホール・ジェネレータに作用して起電力を発生させている。

ホール・ジェネレータが起電力を発生するためには、電流要素として微小電流を供給しなければならないが、これにはトランジスタ形の定電流装置を利用している。

制御用基準定電流装置の規格概要は、

入力: AC, $200\text{ V} \pm 15\%$, 50/60 c/s

出力: DC, $500\text{ mA} \pm 0.1\%$

種類は 10 kA から 100 kA まで各種。いずれも周囲温度が -10°C から $+40^{\circ}\text{C}$ の範囲で、総合指示精度は 1.0% 。

写真は 20 kA および 30 kA 用のもので、電解用

ゲルマニウム整流器および電話交換用直流電源のゲルマニウム整流器などに付属したホール電流計である。

◇ 50 kW 連続出力クライストロン試作

わが国における大電力クライストロンとしては、さきに NHK 技研と東芝との共同研究による連続出力 10 kW、4 空胴のものが完成しているが、このほど連続出力 50 kW に達する 3 空胴クライストロンが、日本電気で完成した。

このクライストロンは同社が通産省の鉱工業試験研究補助金を得て開発に着手したもので、この種のものとしては世界有数の部類に属し、パルス形クライストロンならばまさに 30 MW 級のものに匹敵するという。



外形寸法は全長 159 cm、最大直径 47.6 cm で、周波数帯は 600 Mc 付近、利得 35 dB、効率 33% で、出力 50 kW を得ており、陰極は電子衝撃加熱方式でタンタルを用い、ビーム電圧/電流は 30 kV/5 A といわれている。

このクライストロンは、開発しては UHF 帯の電子管、見通し外伝送方式の電子管など、さきごろ発表された森田氏発明の電子管など、実用化を合わせれば、一躍約 1,000 km の無中継通信も可能性があると見られている。

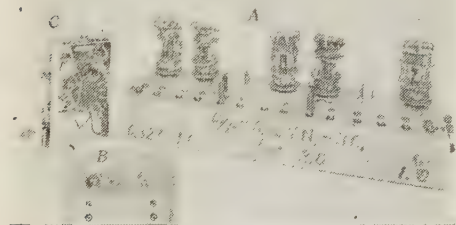
◇ わが国最初の電子恒温そう

電子恒温そうは、ペルチエ効果を応用したものである。半導体材料の非常な発達により、熱起電力が大きく、熱伝導率、抵抗率がともに小さい材料が作れるようになったので、特殊用途にはペルチエ効果を直接に利用できるようになった。

今回、東芝マツダ研究所と電気試験所との協同研究で、写真に示すような実用化第 1 号の電子恒温そうを完成した。本恒温そうは、自動温度制御器とともに使

(4) 電源にはデルタマックス磁心とトランジスタスイッチよりなる方形波発振器が用いられた。(出力 100 W)

(5) 演算増幅器は電子管形と同様な特性が得られているが、磁気増幅器の入力の低い点と電流相似のため、接続には変成器が必要で、また積分コンデンサにはタンタルを用いられている。



写真は試作シミュレータの主要部で、Aは演算増幅器、Bは乗算器、Cは電源部である。この装置は今後大規模にされる予定である。



ローカライザアンテナ



グライドパスアンテナ

◇ 東京国際空港に ILS

東京国際空港に ILS を設置することについて、いままでに再三 ICAO (International Civil Aviation Organization) から勧告をうけてきた。また一昨年の IATA (International Air Transportation Association) においてもジェット大形輸送機の円滑、かつ能率的な進入着陸の上から、従来の GCA のように間接的、間欠的な位置情報によらない直接的、連続的な位置情報を用いた自主的航行の ILS の設置がジェット機乗入れを前にして強く要望されたが、1958年8月わが国とアメリカとの間に合意が成立し、アメリカはわが国に対し ILS を 10 年間貸与することに決定した。この貸与された ILS は現在アメリカで使用されている標準の施設であって、ローカライザ、グライドパス装置、ILS マーカ 2 台、これに併置するコンパスローケータ 2 台よりなり、これらが昨年より設置され現在外側マーカを除いた大部分が設置されるまでになった。この ILS は上述の見地からとりあえず東京国際空港で 300° より 150° 方向に向く長さ約 2,500 m の A 滑走路に沿って設置され、主として 300° 方向に向って進入する航空機の誘導に使用される。さらに現在建設中の新設備として滑走路として使用されるようになれば、そのほうへ移設されるものと考えられる。

グライドパス装置は航空機の進入方向より見て滑走路の右側で、滑走路中心線より 125 m で、かつ滑走路進入末端より内側へ 445 m の所に位置し、グライドパスビームを 150° 方向へ発射する。ローカライザアンテナは通常使用滑走路中心線の延長上に設置されるが、東京国際空港の場合、設置位置付近の地形の関

係から ILS による進入方向より見て左側 47 m で、かつ滑走路の 300° 方向の末端より 30 m 外方に設置してあり、コースは約 1 度反時計方向に回され、滑走路進入末端付近で滑走路中心線と交さるようにしてある。中間マーカは滑走路進入末端より約 915 m の所に設置してある。外側マーカは通常滑走路進入末端より 3.9 NM の所に設置されるのが標準となっているが、東京国際空港の場合この地点は東京湾の真中になるので、対岸の木更津飛行場付近に設置される予定である。しかし外側マーカが中間マーカよりははなはだしく離れることは ILS 使用上好ましくないの、今後検討を要する点となっている。

なお、ローカライザ用周波数として ICAO 太平洋地域航行会議では 109.5 Mc を勧告しているが、わが国ではテレビ受聴に与える妨害など国内の特殊事情を考慮して、上記勧告にかかわらずローカライザ用として 111.5 Mc、グライドパス用としては ICAO 標準でこれと対になっている 332.9 Mc、マーカ用として 75 Mc がそれぞれ割り当てられた。

◆ 電電公社の高速度符号伝送試験

電電公社通信研究所では“計算機あるいは統計機に用いるデータを伝送する電気通信回線”の一般的特性について検討中であったが、さる6月初旬から約2週間にわたり、高崎—熊谷間 12 Mc 同軸伝送方式実験セットを用いて、高速度符号伝送試験を実施した。試験は、(1) この同軸方式が符号伝送のような特殊回線にも使用できることの確認、(2) 伝送路の位相特性と符号伝送特性との関係を求めること、(3) 伝送路のレベル変動と符号伝送特性との関係を求めること、の3項目に主眼をおき、AMDSB 方式およびFS 方式による2進符号伝送について検討を行った。回線の位相特性はCH フィルタによってその特性が決まり、G フィルタなどの影響はほとんどないことが判明した。なお、中継器へ給電している電力から妨害があり、音声周波信号が位相変調をうけていることが発見された。現在の回線ではその絶対値が小さいので問題はないが、将来、長距離回線を構成するときのことを考慮して、目下この点につき原因を探究中である。符号伝送試験の結果はきわめて満足できるものであって次のような特性が得られた。

符号ひずみ特性

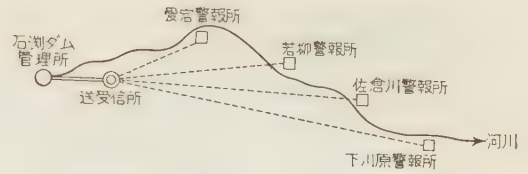
方 式	レベル変動 付 加 量 位相補償 の有無	AMDSB 方式 (%)				FS 方式 (%)	
		0		±6 dB		±10 dB	
		無	有	無	有	無	有
速 度	1,000	1.5	1.5	2.0	データなし	6.0	データなし
	1,500	2.0	3.0	5.0	—	8.0	—
	2,000	8.0	8.0	19.0	—	—	—
	2,500	22.0	25.0	—	—	—	—
	ボー	—	—	—	—	—	—
2 区 間	1,000	3.0	1.5	6.5	2.5	6.0	5.0
	1,500	—	3.5	8.0	9.0	10.0	8.0
	2,000	17.0	7.5	18.0 (1,750 ボー)	15.0 (1,750 ボー)	—	—
	2,500	—	22.0	—	—	—	—
	ボー	—	—	—	—	—	—

上表からもわかるように、AM,FS 両方式とも2区間で、1,500 ボー程度までの通信は案にできることが明らかとなった。今後は現用回線について、雑音ならびに時々断の影響を求めていく予定である。

◆ 無線式ダム放流警報装置

岩手県石淵ダムに無線式ダム放流警報装置の国産1号機が設置され、台風シーズンを控えて効果が期待されている。

この装置は建設省東北地方建設局の発注で、東芝で製作、本年6月初旬に現地すえ付け完了したもので、ダム管理所でゲートを大幅に開いて放流を行う場合、事前に無線による遠隔制御により下流の無人警報所のサイレンを鳴らして住民に徹底させ、急激な増水によ



第1図 伝送系統図

る災害を未然に防止することを主目的とする。

本装置の構成は第1図伝送系統図に示すように、ダム管理局1、送受信局1、警報局4個所からなり、遠隔警報を行うほかに、各警報局でサイレンが吹鳴された場合、マイクにより吹鳴音をピックアップし、警報所の送信機を周波数変調して管理所に送りかえし、管理所のスピーカを鳴らして吹鳴されたことを確認することができる。また巡回、点検時に各警報所と管理所間で無線電話連絡を行うことができる。第2図は石淵ダム下川原警報所の全景である。

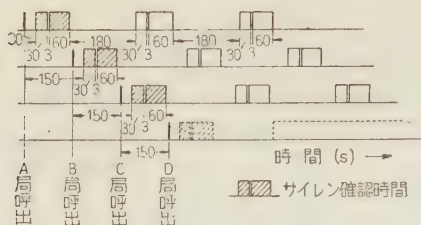


第2図 石淵ダム下川原警報所

遠隔警報制御は管理所制御装置の押ボタンスイッチを圧下することによって行われ、任意の警報所または、全警報所のサイレンを順次自動的に所定のコードにしたがって吹鳴させるもので、押ボタンの圧下により管理所制御装置から各警報所ごとに異なる2周波のサブキャリアが発生し、制御ケーブルを通して送受信所に送られ、超短波送信機を周波数変調して制御信号(F₂形式)を無線により各警報所に送る。

各警報所では呼出信号を受信し、出力を選択してサブキャリアが局用に割り当てられた周波数であった場合だけカム機構を駆動し、電磁接触器を介して、サイレン電源を断続する。

石淵ダム警報装置のサイレン吹鳴コードは第3図に



第3図 各局サイレン吹鳴時間と確認時間

示すように、各局 30 秒吹鳴、3 秒休止、60 秒吹鳴の 1 コードを 3 分間隔で 3 回くり返すもので、このうち最初の 1 コードだけ吹鳴確認を行っており、順次制御の場合には 1 局の 1 コードの吹鳴が終わったならば次の局の吹鳴に移るようになっている。また、雑音、音声などにより誤って吹鳴されることを防止するため、各局制御信号に各局ごとに異なる 2 周波の混合波を使用し、かつ警報所の信号選択回路、カム機構に遅延回路を使用している。なお、警報所には時限保護回路を使用し、故障時のサイレン自動停止ができる構造になっている。

◆ オートメーションセンタ整備

社団法人日本電子工業振興協会（東京都港区芝西久保 4 町 35）ではプロセスの総合計装技術および方式などの共同の調査研究、国産制御機器の信頼性の実証、関連知識の普及の場として、プロセスモデルプラントならびにプロセス制御系シミュレータを設置したオートメーションセンタの設立を図り、このたび工事の完成を見た。現在は総合試験中であるが、近く一般に公開する予定である。なお設置機器の概要は次のとおりである。

(1) プロセスモデルプラント 吸収ならびに蒸留の工程を施設機器の切り換えにより操作することが可能であって、これらのプロセスは装備せる制御機器の有機的結合によって温度、流量、圧力、液面、分析などの自動制御化ができるように設計されている。

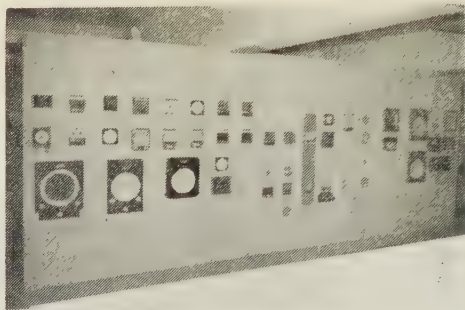
装備されている制御機器の内容は次のとおりである。

温度調節計 9 点、流量調節計 8 点、圧力調節計 8 点、液面調節計 9 点、分析計 2 点、（製造会社大倉電気、島津、東京計器、東芝、日立、富士電機、北辰電機、山武ハネウエル、横河電機）

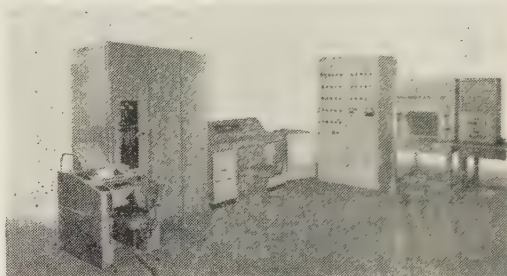
(2) プロセス制御系シミュレータ この装置は下記機器により構成されているが、これらは必要に応じて実時間での動作や、制御機器を含むプロセス制御系のシミュレーションが可能であるほか、かなり複雑なプロセスや相当高度な計算制御方式などがシミュレートできることに特長がある。

(a) 遅延回路形プロセスシミュレータ（日立）

過渡応答さえ与えられれば、直ちにその特性をセ



モデルプラント計器盤



プロセス制御系シミュレータ

ットすることができる点に特長があり、プロセス特性がはじめに与えられて、それに適合する制御系を設計したり、調節計を試験したりするときに便利である。

(b) 低速相似形プロセスシミュレータ（東芝）

低速アナログコンピュータをプロセスシミュレータ用として改良し、時間軸を延長してある。ほかに 6 チャンネルの記録器を付属している。

(c) 制御用計数形電子計算機 内部 2 進の電子

計算機でプロセス制御系シミュレータの一部として使用する 目的のため、マルチチャンネルの A/D および D/A 変換器と直結し、データの授受が行われる。チャンネルの選択は計算機の指令により、サンプリングレートは制御卓の信号により変更できる。

(d) A/D, D/A 変換器（島津、横河電機） 本

装置を通じて電子計算機と遅延回路形あるいは低速相似形プロセスシミュレータを相互に結合し、制御系の動作を有機的にする。

(e) 外乱発生器（東芝） 正弦波、三角波、方形

波を発信し、制御系に生ずる外乱をシミュレートする。

(f) 制御卓（富士電機） 上記各装置相互間の接

続を行い、内属する低周波信号発信器によってサンプリングレートを変更する。

◆ アメリカへ初めてテレビセット輸出

電子機器の輸出とくに対米向けについては、最近低

調の声が伝えられているが、事実は次第に増大の傾向をたどっている。日本ビクターでは、かねてニューヨークのデルモニコ・インターナショナル・ディビジョン・オブ・トムソン・スターレット社とテレビジョンセット、音響機器の輸出について交渉していたが、テレビセットの画質の鮮明さと音響機器の音質のよい点が好評を博して今春契約がまとまり積出しが始まった。わが国でテレビセットが対米向に輸出されるのは初めてのことで、とりおえず 19 インチ 110° 偏角角ブラウン管使用) 可搬形がクリスマスまでに 10,000 台が出荷される、また 8 インチトランジスタ式セットも 8 月より量産化されて出荷されることになっている。このほかすでに高級ステレオ電着 (4 種のレコードチェンジャ付) が数千台と、FM ラジオ 3,000 台が出荷され、引き続いてクリスマスまでに前者が 20,000 台以上、後者は数万台積出される予定となっている。なおこの 2 種機器は全部 FCC 規則による放射妨害について特別の配慮が行われている。

◆ 太洋海底電線株式会社設立

東京とハワイ間約 5,000 マイルを結ぶ海底電線の敷設計画は、かねてより、古河電工、住友電工および藤倉電線の 3 社が、国際電電公社およびアメリカ ATT (American Telephone and Telegraph Company) とともに検討を行っていたが、敷設に使用する電線は、日本側で製造することが決定したので、日本側は 3 社共同出資で、太洋海底電線株式会社を設立した。役員、資本金などは次のとおり。

役員 社長 山崎善雄 (古河電工専務)
常務 辻 吉正 (住友電工取締役通信部長)

同 金沢寛作 (藤倉電線総務部長)
資本金 授權資本金 16 億円
払込資本金 4 億円
敷 地 横浜港防波堤隣設の国有地 2 万 6 千平方メートル
電線の形 深海同軸海底ケーブル

◆ 電気工事士法成立

通産省は 34 年 6 月、電気工事に従事する者の技能の向上を図って電気工事による災害を防止するため、電気工事技術者検定規則を制定し、任意検定制度による試験を実施してきたが、今回新たに電気工事士法案を第 34 国会に提出し、7 月 15 日可決成立した。

この法律の内容は、概略次のとおりである。

(1) 電気工事士以外の者が政令で定める電気工事 (電気使用場所の配線工事) に従事することを禁止する。

(2) 電気工事士免状は、都道府県が行う試験に合格した者、通産大臣の指定する養成施設で所定の課程を修了した者、通産省で定める基準により都道府県知事の認定を受けた者に対し、都道府県知事が交付する。

(3) 電気工事士は、保安上の基準にしたがって、電気工事をしなければならないものとする。

(4) その他 (業務開始届、報告、免状返納命令、聴聞、罰則など)

なお、この法律中、免状交付 (試験などを含む) 関係規定は 10 月 1 日から、義務関係規定は公布の日から 2 年 6 个月をこえない範囲で政令で定める日から施行されることになっている。

本 会 記 事

編 修 懇 談 会

7 月 26 日午後 6 時より北海道大学クラーク記念会館にて開催。後藤会長、浅見、宮本副会長、山田総務理事、木村会計理事、小沢、柳井、上之園編修理事、林関西支部長 (代)、高野東北支部長、犬石、上田、山村、石崎、土井、迎、菊地、日高、武藤、池上、川野、鈴木、中村、福井、小沢、三浦 (武)、元岡、野村、黒川、西村、三浦 (良) 編修委員、長島参事、田野囀託、長島書記出席。

後藤会長の挨拶、宮本編修委員長の編修委員会の新運営方式の説明、小沢幹事長の配布資料の説明の後懇談に入り、下記の点等が採りあげられたが、編修協議会にはかることとした。

1. 専門外の読者にも判り易いよう、イントロダク

ションを詳しく書くよう指導されたい。

2. 論文の書き方の啓蒙を行いたい。

3. 討論を活潑にするため査読者に討論者の推薦を依頼しては。

4. 査読原稿から執筆者名をとらないようにしたい。

5. 寄稿者と査読委員と面談できるようにできないか。

6. 寄稿の返送を避け、査読は書き方の指導を心掛けるようにされたい。

8 月 編 修 委 員 会

8 月 9 日午後 5 時 30 分より日本電機工業会会議室にて開催。宮本委員長、小沢幹事長、上之園、柳井幹事、高山、山村、日高、矢崎、山川、野村主査、小林、矢板副主査、沼崎、土井、迎、尾出、市原、藤井、福

井委員，長島参事，長島，川島書記出席。

1. 下記事項につき協議した。

- (1) 編修懇談会の結果については更に協議会で諮る。
- (2) 連合大会シンポジウム中，「遮断器の等価試験法について」および「変動負荷に関する諸問題」を掲載，「固体電子応用」は野村主査に一任。
- (3) 雑誌体裁の変更については次回協議。

2. 寄稿の査読結果から次の 15 件を採録することとした。

- (1) 活回路用起電圧周波数直視装置
- (2) 超高電圧における複導体のコロナ雑音
- (3) 非接地系電源端における線路充電電流遮断現象と開閉異常電圧
- (4) BF₃ 比例計数管の放電および計数特性
- (5) サイラトロン増幅器による直流分巻電動機の速度制御
- (6) 多数決原理によるブール代数の展開について
- (7) 土星形電極の静電容量の近似式
- (8) 静電変圧機の移動誘電体板上の電位分布について
- (9) BaTiO₃ 磁器の空間電荷分極とエージング
- (10) 不純水の電解処理法の研究
- (11) 電気集塵器における逆電離現象
- (12) 圧延機用電動機のインパクト速度降下補償制御の研究
- (13) 核磁気共鳴吸収によるキャストレジンの熟成に関する研究
- (14) サーボ機構の周波数応答における非線形摩擦の影響
- (15) パルス放電より定常グローへの転移

東京支部記事

講演会 8月6日午後1時30分から日本電機工業会講堂において，次の講演を行った。参加者 60 名。

1. 第3回国際非破壊検査会議について
東大・生研 高木 昇君
2. 最近の超音波検査法
東大・航研 丹羽 登君
3. 最近の電気磁気検査法 電試 大山 一城君
4. 最近の放射線検査法 (映画つき)
東芝・マツダ研 永見初太郎君
5. 電気機器材料の非破壊検査
東芝・鶴見研 和田 重暢君

支部長・幹事会 8月11日午後2時からレストランとうきょう会議室にて開催し，支部大会一般発表論文申込 357 件に対し役員会に提出する分類，リポータ，座長選定表案，その他につき協議した。

役員会 8月11日午後5時30分からレストラン

とうきょう会議室にて開催，支部大会に関する次の事項を協議した。

- (1) 報告 特別講演…2件，一般論文申込件数 357 件，論文集ページ数希望調査結果等
- (2) 一般論文の分類および区分表の作成
- (3) 座長およびリポータの選定
- (4) 論文集の分冊区分，頒布価額および大会予算
- (5) その他

専門講習会準備小委員会 8月16日午後5時30分からレストランとうきょう会議室にて開催，36年2月に開催予定の「最近の半導体部品とその応用」専門講習会に関し，期日，時間数，科目と講師候補者等につき協議し，9月に講師打合会を開催し細目につき打合せることとした。

大会リポータ懇談会 8月22日午後5時30分からレストランとうきょう会議室にて開催，昭和34年東京支部大会のリポータの方々に参集を願い，同大会リポータ方式についての御批判を拝聴し，今年の実施に際し参考とすることとした。

北陸支部記事

見学会 7月23日，24日の両日にわたり電源開発会社御母衣発電所および関西電力会社鳩ヶ谷発電所を見学した。参加者 62 名。

講演会 8月5日金沢市金沢商工会議所において電気通信学会北陸支部との共催により開催し，次の講演を行った。参加者 40 名。

人工衛星の電波観測

郵政省電波研究所 中田 美明君

北海道支部記事

役員会 8月16日午後1時から北海道電力会社会議室にて開催，次の事項を協議した。

- (1) 電力技術者のためのエレクトロニクス専門講習会 9月26，27日(午前9時～午後5時)北海道電力会社会議室にて開催の予定とし，諸事項を定めた。
- (2) 見学会予定 10月初旬 滝川火力発電所
講演会 “ 8月25日 演題未定
- (3) 電気四学会北海道支部大会 11月25日北海道大学工学部にて開催の事を決定し，実行委員会の設置，予算分担，その他につき協議した。

事業維持員(8月)

入会

(株)井上電機製作所，日立工業株式会社(2口)
敷島紡績株式会社，常磐共同火力株式会社(1口)

会費口数増加 (括弧内は増加後の口数)

東京芝浦電気株式会社, 三菱電機株式会社(40口)
住友電気工業株式会社, 古河電気工業株式会社 (30口)

藤倉電線株式会社(20口)

八幡製鉄株式会社, (株)安川電機製作所(10口)

沖電気工業株式会社, (株)島津製作所, 昭和電工株式会社, (株)高岳製作所, 東洋電機製造株式会社, 日新電機株式会社, 富士通信機製造株式会社, (株)横河電機製作所(5口)

大阪変圧器株式会社, (株)戸上電機製作所, 山武ハネウエル計器株式会社, (株)立正電機製作所(3口)

大倉電気株式会社, 大崎電気株式会社, 大阪陶業株式会社, 近畿日本鉄道株式会社, 沢藤電機株式会社, 新電元工業株式会社, (株)東京計器製造所(2口)

35 年 8 月 入 会

正員 (55 名) 吾郷侃二, 青木伸一, 青木信彦, 芦川郷幸, 荒瀬進午, 飯岡圭輔, 飯田源一, 池田 尚, 岩井 弘, 上野一好, 浮ヶ谷和男, 牛山雅雄, 小野田元, 織田準一, 大沢利克, 大原鐘斗, 荻野泰正, 紀村均, 貴田勝造, 倉田 怜, 斎藤知行, 桜井信行, 杉原真, 鈴木 隆, 鈴木英男, 鈴木 益, 十河隆文, 田中正義, 高野 勇, 常広 譲, 得居喜重, 中井 実, 野田徹也, 野中 寛, 橋本三雄, 坂東芳三, 林 兼弘, 福永孝哉, 堀内幹本, 松村茂樹, 水谷美千夫, 茂木実, 両角 博, 森本英男, 八尾哲男, 安田良久, 山崎義八郎, 山口勝也, 山田 明, 油本暢男, 横塚 勉, 好満節雄, 李 載 仁, 和田 敏, 若林義宗

准員 (15 名) 秋月 智, 伊藤智之, 池 正兄, 今井 聖, 倉田哲也, 小林孝夫, 酒井洋栄, 煤孫吾夫, 十川忠男, 高尾智晴, 平輪憲道, 藤本武男, 細見泰郎, 吉村雅博, 渡辺邦夫

調 査 委 員 会 記 事

調査研究委員会

電気材料技術委員会 (6 月 22 日)

1. コロナ放電専門委員会の件

官部委員長が池田測定技術委員会委員長と話合った結果について, つぎのように報告があった。

池田委員長は測定技術委員会にコロナ放電測定委員会が設置されることを希望しておられ, その計画を進めるについては材料委員会の協力, さし当りは材料委員会の中の一委員が計画の立案に参加することを望んでおられる。

この報告に基づいて審議した結果, コロナ放電測定委員会設置の計画が順調に進むよう測定技術委員会に協力すること, 当委員会からは川井委員に具体的計画の立案に参加してもらうことになった。

2. シリコン専門委員会設置の件

ゲルマニウム委員会の新美幹事から同委員会の調査研究の事情, 内容などについて説明を聞き, それに基づいて, 同委員会がすでに調査研究に着手しているシリコンの専門委員会を設置し, その委員長には新美氏をわずらわすことが望ましいこと, およびその調査研究の完了をまって, 一般の半導体の委員会設置の計画を進めることを決定した。

3. 絶縁材料照射専門委員会設置の件

間瀬委員が起草された設置趣意書について審議し, つぎのように決定した。

〔1〕 設置理由 原案通り

〔2〕 対象事項 帯縁材料の照射に関する文献調

査および研究, とくにつぎのものを対象とする。

a. 絶縁材料とくにポリエチレン照射を対象とした特性の検討とその応用面および経済性の考察

b. 絶縁材料の放射線劣化

4. 接点材料専門委員会設置の件

計測学会の委員会とは内容の違った委員会を設置すること, その具体案を土屋委員に立案してもらうことになった。

5. 委員交代の件

1号委員 退任者	後 任 候 補 者
石川 朝邦君(東 芝)	貴田 勝造君(日本碍子)
岡崎 三郎君(東 大)	小谷 鎮治君(東邦産研)
佐藤 金三君(富士電)	山田 英作君(富士電)
土屋 金弥君(通 研)	杉原 真君(通 研)
和田 重暢君(東 芝)	大橋 謙蔵君(東 芝)

電気材料技術委員会 (7 月 16 日)

1. 委員長より新旧委員交代の挨拶があった。

2. 材料技術委員会の全般について種々懇談した。

電気材料の研究または製造に従事している人で, 電気学会に入会していない人が相当にある。これらの人の多くは電気科出身ではないが, これらの人に対して学会入会を勧誘することを申し合せた。

電線技術委員会 (5 月 13 日)

1. 阪本委員は任期終了となったが, 重任することとなった。

2. 年報について 用語: 200 kV 以上は超高压

とし、140 kV 級は高压とすること。地名：判りやすいように国名を入れること。特殊用語：一般性のないものには説明をつける。

以上の点を検討の上、至急幹事宛に送付することにした。

3. 学会誌に委員会の活動状況を要約掲載しているが、十分に励行されていないので、これを徹底するよう専委幹事に連絡すること（編修理事よりの要請）

4. 技術綜説の執筆依頼について

本校委に題目を提出するよう要請されたが、執筆依頼と懇談会記録（講演を主とする）の二つの方法が考えられる。項目としてつぎのものが考えられる。

○バスダクト（北海道大会の講演より）、○ケーブルの超高压化、○マグネットワイヤの概要

上記中、マグネットワイヤについては同専委の技術報告を解説的に要約したもので、この方式の可否については運営委を通し編修委の検討を願うこととする。

5. 小林委員より電線の略号について学会として統一する必要はないか（委員会を作って）と提案された。

同期機専門委員会（8月3日）

○IEC よりのタービン発電機の温度上昇、特性などの標準に関する問合せに対する回答を審議した。

○同期機銘板の記載事項のうち、励磁電圧には励磁装置の定格電圧を、界磁電流としては定格状態における界磁電流（実測しにくい場合は JEC 界磁電流算法による計算値）をうつことになった。

変圧器専門委員会（7月21日）

○宮本 活氏（高岳）が新委員となった。○IEC 規格（温度上昇）に対するオランダなどの提案内容が紹介された。○試験指針について、まとめ方および懸案事項について審議した。○電線工業会からの銅線の機械的強度に関する調査資料について討論した。

誘導機専門委員会（7月19日）

○誘導機インピーダンスの検討 宮入委員より資料につき説明があり、次回までに ASA 漂遊負荷損測定法との関係を検討しておくことになった。

○誘導機の等価負荷法について 守田委員提出の資料について検討し、文章を訂正し、また実測値を追加し、次回に再審議することになった。

○技術綜説について 候補題目および担当委員を仮決定し、次回に本決定とすることになった。

○誘導機の量記号について 技術報告原稿を審議し承認された。

通信専門委員会（8月4日）

○信号伝送装置規格の統一について 総合ひずみの定義および測定法につき討論を行ない、次回さらにデータを蒐集して、その規格値を決めることとした。

○CIGRE 論文について トランジスタ化遠隔表示装置の論文を明年提出することとした。

変電専門委員会（7月21日）

○本委員会として調査研究すべき事項について検討し、当面つぎの事項について行なうことになった。

変電所における騒音

(i) 騒音対策の実施例、(ii) 騒音防止機器の発注根拠と仕上り結果、(iii) 機器単体の騒音測定値および支障実例、(iv) 外国文献の蒐集、(v) アンケート様式の原案

電気規格調査会

計器用変成器標準特別委員会（7月18日）

○前回までに追加、改訂を決定した事項について作成した三次案（資料 25）の逐条審議を行なった。

主な修正点は、つぎのとおりである。

(i) 温度上昇における基準温度の決定法は解説とする、(ii) 絶縁階級 120 号は JEC-143 には規定していないが JIS には含めておく。(iii) 誘導絶縁耐力試験の項にあった接地 PT の接地端子の試験は、非接地 PT の商用周波絶縁耐力の表に入れる。

以上で JIS 改訂案ができたので、学会を通じて工業技術院に JIS 改訂方を申し入れることにした。



普通鋼
特殊鋼
高マンガン鋼
迅速納入

日本鑄鋼株式會社

取締役社長 馬場幸一郎
東京都江東区大島町7の650
電話 城東(681) 9131-9135
出張所 電話 銀座(571) 1818

電気学会・放電専門委員会編

放電ハンドブック

A5判・510ページ・上質紙使用・上製本

定価 900 円 (送料 100 円)

放電専門委員会委員

委員長	鳥山四男	(武蔵工業大学)
幹事	山本賢三	(名古屋大学)
"	稲田金次郎	(日本大学)
委員	浅見義弘	(北海道大学)
"	大木正路	(三菱電機)
"	木村輝治	(日立製作所)
"	篠原吉	(名古屋大学)
"	吹田徳雄	(大阪大学)
"	高津清一	(電気通信研究所)

委員	武田吉造	(横浜国立大学)
"	八田吉典	(東北大学)
"	平野慎吾	(古河電工)
"	本多侃士	(東京電機大学)
"	鳳誠三郎	(東京大学)
"	法貴四郎	(原子力局)
"	三田昇	(電気試験所)
"	三好保憲	(名古屋工大)
"	若林良一	(東芝電気)

(以上の委員のほかに、約 20 氏にのぼる斯界の専門家が執筆に協力された)

絶縁破壊すなわち放電現象の問題は、電気工学においても物理学においても重要かつ興味ある問題の一つである。しかるに、この問題は非常に複雑で、いまなお誰でもが認め得るような理論がない。気中放電に例をとれば、Townsend の理論が発表されてから半世紀近くになるのに、まだこの理論にさえも多くの問題が残されている。液体誘電体中の放電現象にいたっては、まだ確認された理論がない状態で、今後の研究にまたねばならない問題が非常に多い。

しかし、電気工学においては、いままでのデータを基礎にして、できるだけ合理的な設計をなし、優秀にしてかつ低価格の電気機器を製造しなければならない。

このため、電気学会では、昭和 29 年より放電専門委員会を設け、本書を編修することにした。すなわち、最近までのデータをできるだけ多く集め、これを整理して現場の技術者、研究者および学生諸君の座右の便に供するよう編修されたものが本書である。

期間中とくに学校関係者に限り、下記のような御便宜を御取計らいいたしますから、ぜひ、御利用下さい。

○特典期間：昭和 35 年 9 月 15 日～10月 30 日

○特 価：4 部まで：1 部につき 850 円 (送料学会負担)

5 部～9 部：1 部 " 800 円 (")

10 部以上：1 部 " 750 円 (")

○申込方法：学校あるいは教室単位にて必要部数を御取まとめの上、担当責任者より御申込下さい。分割払いを希望される向には、御相談に応じます。(申込用紙は自由)

東京都千代田区有楽町 1 の 3

発行所 電 気 学 会

振替口座東京 3168



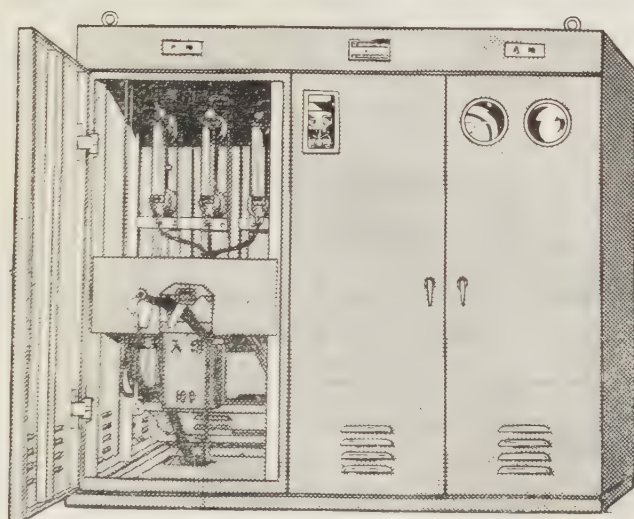
信賴のおける製品
タカサゴの巻鉄心
カットコア



高砂鉄工株式会社

本社 東京都港区芝虎ノ門3番地
電話東京 (591) 代表 6186

スチールケースにスッポリ納まった変電所 簡易キュービクル高圧受電設備



今までの40%の面積で、ビル
工場の片隅に設置できますから、
総設備費は今までの1/2ノ
進相コンデンサ・変圧器など
を立体的に配置した設計です



松下電器産業株式会社

SONY

地震波，流体，その他低周波振動現象の
目関函数の計算に………

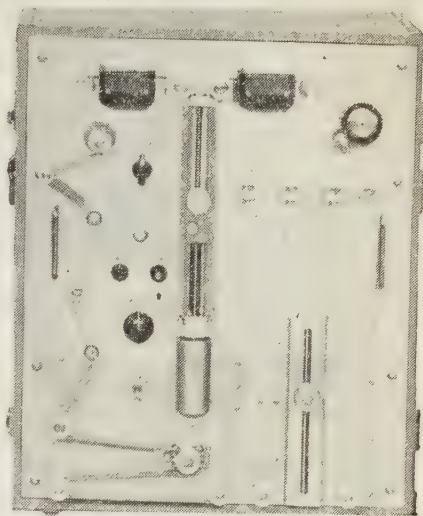
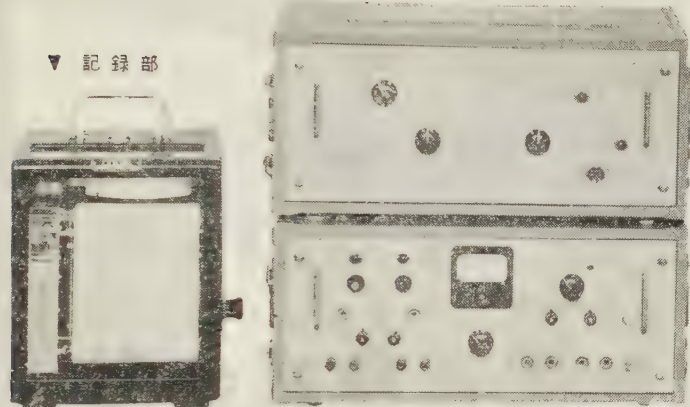
アナログ形磁気テープ式相関函数自動計算機！

テープ幅 125cm
テープ長 約4mのエンドレス
テープ速度 記録時 8cm/sec
演算時 40cm/sec
入力信号 0~20V₀ 0.5V_{p-p}
ただし入力および出力計算速度比が
1:1のときは、0~100%/sまで可能
復調出力 0~100%/s 1V_{p-p}
電源 AC 100V 50%/s まいは60%/s

▼ 演算部

▼ 機構部

▼ 記録部



▲ 変復調部

この装置はエンドレス磁気テープを使い、2ヶのヘッド間で任意の遅延ができます。パルス幅変・復調方式ですから、計算精度は高く、出力はアナログ量としてペンレコーダーで記録できます。変復調部・演算部はオールトランジスタですから保守に有利です。尚この装置にはラック形と可搬形があります。

ソニー株式会社 東京都品川区北品川6-357 (カタログ呈)

電力管理用

新製品



WHA型
(1kW用)

工場モーターの負荷を運転状態のまま、測定できる電力計です。

本器を使用する事によりモーターの実負荷の分析が出来、安全運転、機械作業日程の配分、能率、電力管理がたやすく得られ工場生産力の増大と経営の合理化が出来ます。

モーターの馬力数に応じ各種の品種があります。 (型録贈呈)

ハイク電力計

渡辺電機工業株式会社



本社並営業所 東京都渋谷区神宮通二ノ三六番地
電話 青山 (401) 2281・6141 (代)

スターライト



ALP

ふつ素樹脂製品

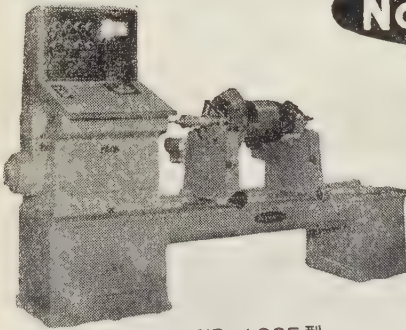
ポリ4ふつ化エチレン

- ▶ 棒 管 円筒 板 テープ
- ▶ 軸受 パッキング ピストンリング
- ▶ 絶縁・耐食・耐熱・耐寒・非粘着性
- ▶ 電気・機械・化学あらゆる工業材料

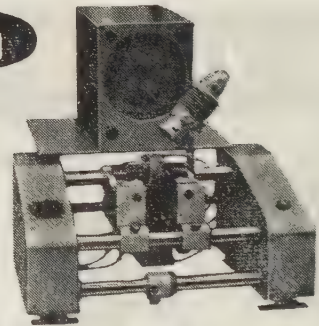
スターライト工業株式会社

本社	大阪市大淀区天神橋筋六の五(天六阪急ビル)	電話 大阪 (35) 5736・8102・7071
東京支店	東京都中央区八重洲一の三(呉服橋三和ビル)	電話 東京 (271) 5501 代表
製造所	大阪市城東区茨田徳庵町一七〇八	電話 大阪 (33) 9031 代表

Nagahama



ND-100E型



ND-1EG型

高感度フォトトランジスター方式

ダイナミック バランシングマシン

汎用の標準型は勿論、あらゆる回転体の適当なバランス修正をなし得る様に極めて軽量なるローター専用のマイクロバランサーから大容量の大型バランサーに至るまで、自動修正装置付専用機、高速型、特殊型、堅型等各種製作しております。

大阪府合理化機械月賦販売制度の特定メーカーに指定されております

発売元 三菱商事株式会社



株式 会社 長濱製作所

機械第二部工作機16-1 二部 電話 東京(211)0211 大阪支社機械部工作機課 電話 272291
名古屋支店機械部二部 電話 名古屋 232111 神戸・広島・札幌・長崎・札幌・長野・広島
岡山・高松・宇部・高松・四日市・富山・静岡・新潟・仙台・宝島・其の他

大阪府豊中市浜 323~2 (阪急宝塚線服部駅東 500 米)

電話 (39) 1132・1789・1889

東京事務所 東京都港区芝南佐久間町2の7 電話 東京(591)0645・4488

オートメーションに

代理店
吉和田電機
TEL (561) 9201
鳥羽洋行
TEL (541) 3961

花塚デン気の

変速定トルクモーター
シンクロナスモーター
コンデンサーモーター
シリーズモーター
レバーシプルモーター
直流モーター
サーボモーター
1W ~ 750W

小型ギヤードモーター

減速 $\frac{1}{1,000,000,000}$ 容易!

HDK

花塚デン気工業株式会社

東京都品川区小山六丁目四四八番地
TEL (781) 1342 番



科学冶金 日・英・米 製法特許

アイロン

鉄系含油軸受

エレクト

電気接点

スーパーマ

金属黒鉛刷子

銀・タングステン・カーバイト
銀・タングステン
銅・タングステン
銀・ニッケル
銀・酸化カドミウム
銀・グラファイト
銀・銅ラファイト
各種銀接点

日本科学冶金株式会社

本社 大阪市城東区古市南通 1-34
研究所 電話 (33) 6565・6566
第二工場 大阪市城東区古市南通 2-1
第三工場 大阪市城東区古市南通 2-9

電子計算機に クレーマ方式

ビジネス合理化の花形…電子計算機は、人間の何十倍何百倍という能力を発揮するだけに、供給電力はすこぶる良質でなければなりません。

デンセイの定周波定電圧装置は、クレーマ方式の完成により、優れた電子計算機に、なくてはならない電源になっています。



Densei

型録送呈

強電機製作50年の豊かな経験とすぐれた技術ノ

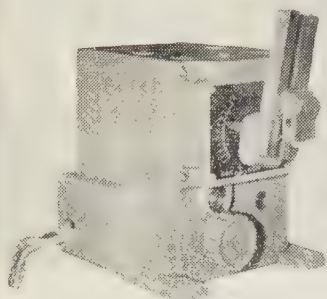


日本電気精器株式会社

本社及向島工場 東京都品川区寺島町3-39
大阪営業所 大阪市北区伊勢町34(日清ビル)
名古屋営業所 名古屋市東区久屋町5-9(上友商事ビル)
札幌営業所 札幌市北八条西1-1
福岡営業所 福岡市天神町58(天神ビル4階)
四国営業所 高松市丸亀町4-0

温度の自動制御に 大倉の電気式調節計

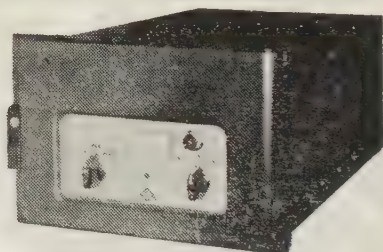
重油炉のバーナー、ダンパー類、電熱器の温度制御、実験室、バッチャープラントなどのコントロールに最適



PDU-1

性能	
比例帯	2 ~ 500%
積分	0.01 ~ 100分
微分	0 ~ 8分

(誌名記入申込に型録進呈)



電気式調節計TYPE-2

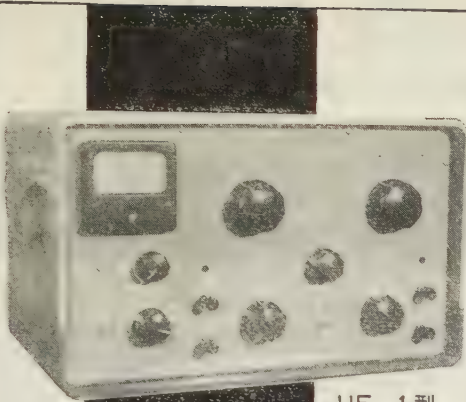
—営業品目—

微圧計・イメージンパイロメーター
電気式調節計・プログラム調節計
その他一般工業用計器各種



大倉電気株式会社

米国Swart wout 社 本社・工場 東京都杉並区西田町2-407 TEL (398) 5111(代表)
と技術提携 秩父工場 埼玉県秩父郡皆野町2076 TEL (皆野) 19-38番
大阪出張所 大阪市北区芝田町112(井上ビル24号室) TEL (36)5791-5 5891-5(交換)
小倉出張所 小倉市博労町63 富士ビル44号室 TEL 小倉 (5) 8621



UF-1 型



ハイパス、ローパス、バンドパスで使える

特徴・性能

- カットオフ周波数は $\frac{1}{2}$ オクターブ毎にHP 36点、LP 36点が独立して切換えられる。
- 入力インピーダンスが高く整合を要しない。2MΩ 不平衡。
- CR方式のため周波数範囲が広くカットオフ周波数を切換えても特性が変化しない。 $15 \sim 10,000 \frac{\text{Hz}}{\text{s}}$
- 遮断特性とSN比がよい。40dB/oct, 80dB
- HP、LPを分離して歪率を測定できる。
- 小型、軽量。410×250×250 mm 13 kg

JEIC

万能フィルター

日本電子測器株式会社

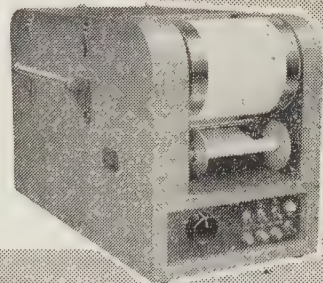
東京都中央区月島西仲通10ノ7 電話東京(531)0101(代)

共和の電磁オシログラフとオシログラム自動現像機



営業品目

抵抗線歪計
抵抗線歪測定器
抵抗線式トルクメーター
圧力計、荷重計、変換器
加速度計、馬力計等
カールソン型計器
電子管式自動平衡計器



MA型電磁オシログラフ

1. 電源は交流、直流共に使用可能
2. 暗室不要で白昼連続撮影可能
3. C、F型は、ガルバ系統が高電圧(3000V 1分間)に耐える

OD型オシログラム自動現像機

1. 小型で取扱が簡便かつ暗室不要
2. 現像むらのない均一な調子に仕上がる
3. 現像後データの長期保存にも水洗不要



共和無線研究所

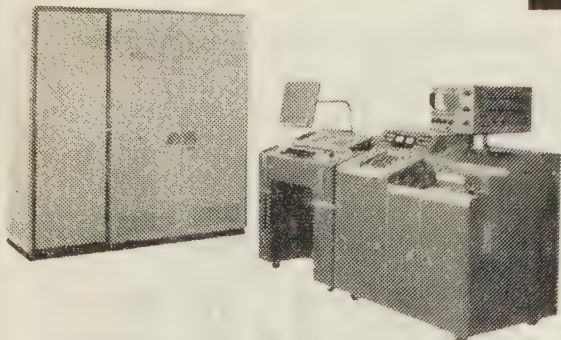
本社 東京都港区芝西久保明舟町19 電話東京(501)代表2444番
大阪出張所 大阪市北区宗是町10(中之島ビル内) 電話土佐堀(44)0058・0059番
名古屋出張所 名古屋市中区岩井通り4の3(マスマビル内) 電話南(32)2596~8番
福岡出張所 福岡市官内町25(官内ビル) 電話福岡(3)5565・6390番

100倍のスピード!

日本電気製

NEAC-2203による....

電子計算センター



電機関係の主な使用例

- 通信網構成計画
- 発電量計算
- 送電線設計
- フィルタの設計及び回路網の計算
- 同軸ケーブル、導波管の設計計算
- 回転機の設計
- その他

土木・建築・電機・地質各部完備の本邦唯一の総合コンサルタント....

JE_C

日本技術開発株式会社

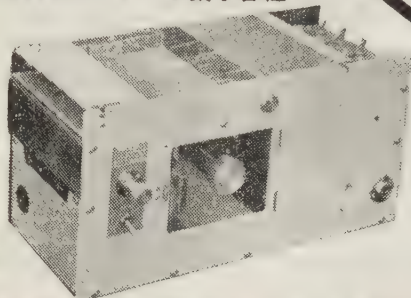
東京都中央区築地 4 丁目 4 番地 TEL (541) 5327 ~ 9

本邦唯一の新企画
二現象

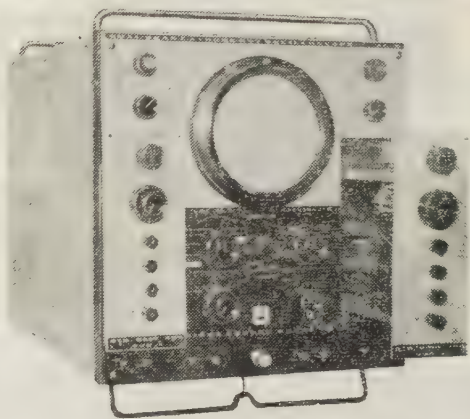
万能ブラウン管オシログラフ

プラグの差換により
直流現象 → 高感度
4 現象観察まで
各種広範囲の測定が出来ます。

INK WRITING 1 ~ 8 素子各種



型名
WI-130
(2 素子)



型名 VC-6
プラグ (垂直増巾器)

直記式オシログラフ

高速現象の記録
研究・製造工程の監視に

カタログ送呈



日本光電工業株式会社

総合営業所 東京都中央区築地 4 丁目 4 番地 TEL (541) 5327 ~ 9
大阪営業所 大阪府大阪市東淀川区 1 丁目 1 番地 TEL (663) 85241
福岡営業所 福岡県福岡市東区 1 丁目 1 番地 TEL (92) 3487
本社工場 東京都中央区築地 4 丁目 4 番地 TEL (541) 5327 ~ 9

日本で初めての



耐圧防爆形200W直付灯

爆発強度試験と爆発引火
試験で保証する

耐圧防爆形



耐圧防爆形12回路電灯分電盤

白金式

耐圧防爆形照明

白金式防爆形主要製品
照明器具（パイプ吊、ブラケット、直灯）
ハンドランプ、投光器、探見灯、コンセンド
並に 点滅器、電灯分電盤（2～20回路）
刃型開閉器（30, 60, 150, 200, 300A）
ジャンクションボックス、ジョイントボッ
クス、プルボックス、シーリングフィッ
ティング、ユニオンエルボー、コムパウンド

並に

防爆形配線装置

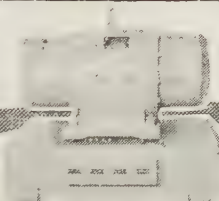


白金式 伊東電機株式会社

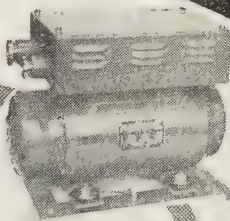
本社並に 東京都港区芝三田四国町16
防爆研究所 電話（451）代 4191～4番
工場 東京都港区芝三田四国町2の4



UDM 34 シンクロモーター

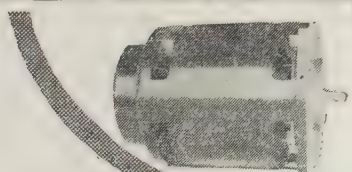


SS 750 インバーター



N-DY-1 電動発電機

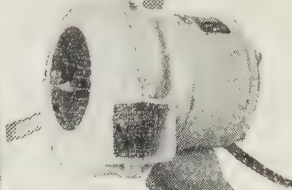
高性能を誇る 各種回転機器



AM-301 コンデンサーモーター



電磁クラッチ



FA7 電動送風機



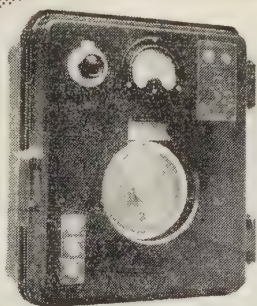
206 G ミニチュアモーター

新中央工業株式会社

東京都大田区大森5丁目 232 番地 電話（761）9125～9

千野の

電位差計式 自動温度調節計



○型式：175

○測温範囲：0～1,600℃

○対時昇降機構付

5℃～500℃（20段階）

○電気炉、加熱炉、熔融炉、コークス炉等
各種の温度制御に最適です。



株式会社 千野製作所

東京都板橋区熊野町32 電(961)5285(代)～9
出張所：小倉市大坂町1～11 電(5)4250



新製品！

VARICODER

実験室・研究室に最適！

電子管式記録計

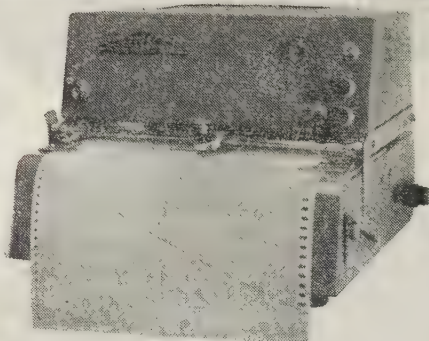
バリコーダ VR-100型

特 長

- 入力抵抗が大きい
- 零点調整全域
- 追従速度が速い
- 制動状態調整可能
- 送り速度3段切替式
- 小型・軽量・安価

◀営業品目▶

交直流定電圧装置 TV用各種測定装置
電子管応用計測機器 電子管式自動温度
調節装置



日本電気機材株式会社

本社・工場 京都市中京区西ノ京上合町17
電話(84)4396～4398(82)0395～0396
東京サービス 東京都千代田区神田司町2～15
ステーション 電話(231)2236

サーミスタ

温度測定、温度制御、トランジスタ
温度補償、超高周波電力測定、発振
器振巾安定、通信回路自動利得調整、
継電器動作遅延、サージ電流抑制用
その他

最も安定度の高い 石塚電子の半導体製品

火花消去に シリスター (SiCバリスター)

(カタログ進呈)

火花消去、サージ電圧抑制、
電圧用 その他



石塚電子株式会社

東京都江戸川区水町2の29 電話 江戸川(661)1133



エハラ

発電用水車 ポンプ・送風機

流体機械専門

荏原製作所

秋田県田沢湖発電所
7660KW 縦軸カプラン水車

本
社
業
所
出
張

東京都大田区羽田旭町
東京朝日新聞新館・大阪朝日ビル
福岡・札幌・仙台・名古屋・新潟

北辰 フィッシャ・ポータ ガラス管面積式流量計

5大特長

1. 浮子が回転しない

浮子が回転しないので摩耗して精度が落ちない。また浮子はトライ・フラット管およびビード・ガイド管でガイドされますので心振れによる誤差がありません。

2. テーパ管の取りはずしが容易

カバーをはずし、テーパ管を下に押さえ手前に引き静かに上に抜きます。すなわちスナップ・イン方式になっています。

3. 補正表が完備

粘度・密度の補正が完備しています。

4. 均等目盛

流量と目盛が均等目盛になっています。

5. レンジアビリティが高い

レンジアビリティが高いので、8～100%の間測定可能です。



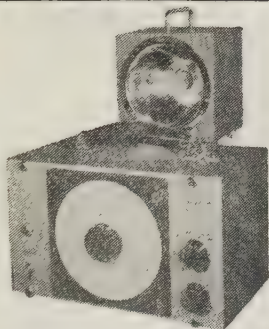
株式会社 北辰電機製作所

東京都大田区下丸子町312電話(03)2141(大代表)

大阪・小倉・広島・名古屋
富山・高松・徳山・札幌

高精度・長寿命

ストロボスコープ



超高速度用

10,000～750,000r.p.m.

強力用

強輝度クセノン管使用

高精度用0.1%

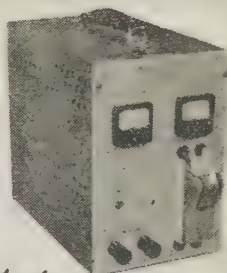
一般用 300～17,000r.p.m.

M-3A型(一般用) 50000A.T

M-5A型(水冷式)超多量生産用

MC-3A型(一般用) 500W.S.

MC-5A型(多量生産用) 1.2KW.S.

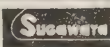


安く強力な

マグネットチャージャー

凡ゆる振動の測定に

高感度 振動計



チタン酸バリウムピックアップ型

可動線輪ピックアップ型

代理店

株式
会社

菅原研究所

日本電計株式会社

東京都千代田区神田須田町1-28 TEL(291)5111(代)～5



世界に燦然たり……

1960年

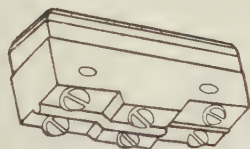
2極マイクロスイッチ群

日本の技術
が生んだ

革新

技術

世界で最初
にして唯一



特徴と性能

この二極マイクロスイッチは本邦に於いては勿論、又その品種に於いては従来の単極の基本型と同一に給ゆる品種が完成致しましたことは世界でも最初の画期的なものです。この成功の理由は本書が「応差の動き(M.D.)」に於いて外国品の欠陥(応差の動きが大きいこと、これは二極マイクロスイッチが海外に於いても、国内に於いても普及されない理由の一つと考えられます)を完全に除去したことです。これは正しくマイクロスイッチの革命、新分野への黎明とまで云われる理由です。そして更に特徴は次の如く追加されるのです。

- (1) 外寸、取付位置は単極基本型と同一
- (2) 機械的寿命は50万回以上、接点間隔は従来の単極品より広い
- (3) 動作力、応差の動きも単極型と同一
- (4) 単極品を2ヶ並べて使用するのと違いスイッチの投入、切断は2回路同時
- (5) 規格

- 耐圧 1000V. A.C. 一分間
絶縁抵抗 500V. 1000MΩ以上
動作に必要な力 (O.F.) 309~450g
動作迄の動き (P.T.) 0.5MAX
動作後の動き (O.T.) 9.13MIN
戻りの力 (R.F.) 114g MIN.
応差の動き (M.D.) 0.81±0.15

電流容量 125・250V. 10A. A.C.



日本開閉器工業株式会社

東京都大田区馬込東3-644

TEL 東京(771) 8841~2・8379



最も合理化された熱処理

遠赤外線ヒーター

乾燥器・自動制御装置

赤外線・熱風乾燥装置
各種コンベアー・配電盤
各種ヒーター・計器類

印刷・繊維・金属
ゴム・製紙・樹脂工業用



遠赤外線焼付炉

永進電気株式会社

代理店 都福株式会社 大阪営業所

代理店 東京材料株式会社

東京都品川区北品川5-457

電話 東京 441局 7223 (代表)

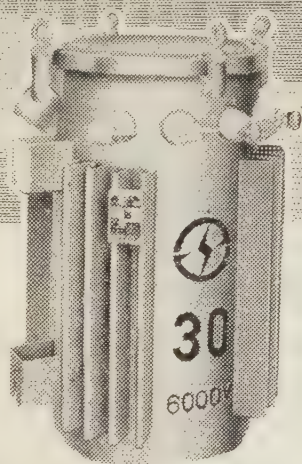
大阪市北区老松町1の17大建ビル TEL (34) 6384

東京都中央区銀座東5-2 TEL (541) 5301 (代)

卓越せる技術の結晶

主要製品

巻鉄心変圧器・電力用変圧器
各種特殊変圧器・ネオン変圧器
配電用機器・小形モーター



アイチのトランス

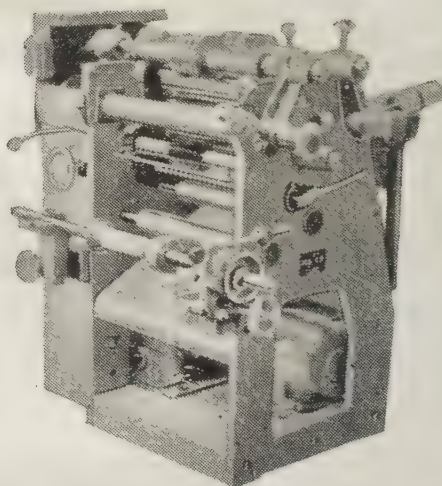


株式会社 愛知電機工作所

本社 愛知県春日井市松河戸町3880 電(春日井) 2131
東京支店 東京都港区芝田村町4の3 電(431) 0646-6206
名古屋支店 名古屋市東区水筒先町2の2 電(4) 9586
大阪支店 大阪市東区談路町4の25 電(26) 9247

S スリッター

アルミ箔、コンデンサーペーパー、スチロール、マイラー等を所定の巾に切断し捲取るもので、最大巾 300mmの資料から最小巾5mm迄切断できる。従来の機械を改造し、一新した新鋭機である。



株式会社 明製作所

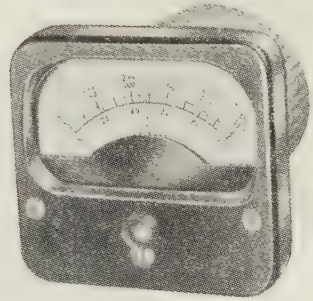
本社 東京都品川区大井鰯洲町 (491) 9125-9
大阪出張所 大阪市北区堂島上2の39毎日産業ビル (34) 6540

無接点

H型メーターリレー

(高周波式指示継電器) PAT.P32-40815

1. 微少電圧、微少電流により
自動制御及び信号が得られる
2. 接点を使用しないため
接触不良による誤動作がない。
設定点によるリレー動作と無関係にも指示が
設定点を通過して得られる
3. 同じ目盛上に
指示と制御点の設定が得られる。
4. 制御点の設定は
表面の摘みにより、簡単に任意設定できる。
5. 機器への取付けは
普通のパネル型計器と同じであり小型である。



型式 ER-35 S 11

営業品目

携帯用各種指示電気計器
配電盤用各種電気計器
メーターリレー・温度計
各種抵抗計・摺動抵抗器
各種電気計測器



株式会社

日本計器製作所

東京都大田区調布千鳥町100 電話(751)3570・7231・4801

ハイカーコルク



変圧器及

油入遮断器用

バックング

(型録贈呈)

創業明治 29 年

JIS 表示工場

No. 2948



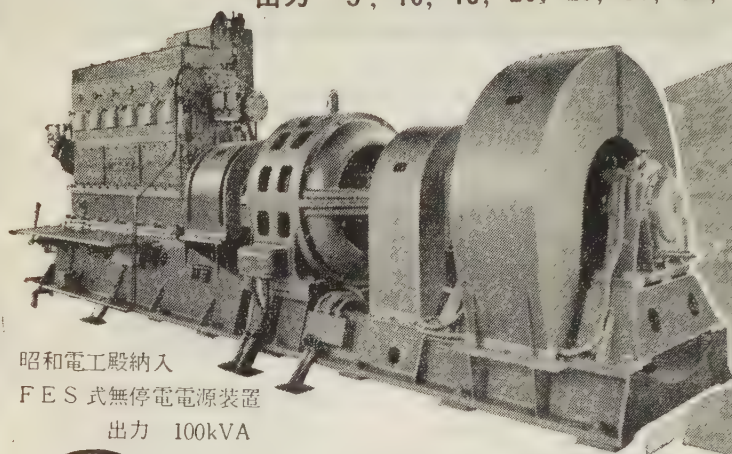
永柳コルク工業株式会社

本社 東京都墨田区寺島町4丁目25番地 (東武線 曳船駅前)

電話 東京 (611) 代 5111・5110-9

交流無停電電源装置

出力 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100kVA 各種



昭和電工殿納入

FES 式無停電電源装置

出力 100kVA



山洋電気株式会社

東京都豊島区巣鴨 6 / 1349

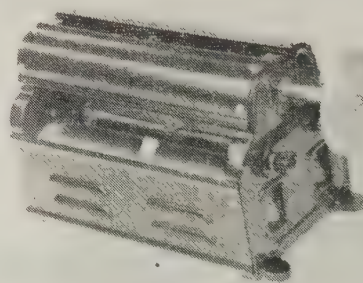
電話 東京 982 局 5151 ~ 9

工場・東京・上田

摺動抵抗器

手動用・モーター駆動用

品質最高!!
納期迅速!



上記写真はモーター駆動用ブリーをつけたところ。
このブリーにハンドルをつけ、微細調節用とすることもできます。

カタログ贈呈

SS 型単心摺動抵抗器 75種類
DS 型双心摺動抵抗器 90種類

東京精電株式会社

東京都港区芝南佐久間町 1 ~ 5

電話 (501) 9349, 9522

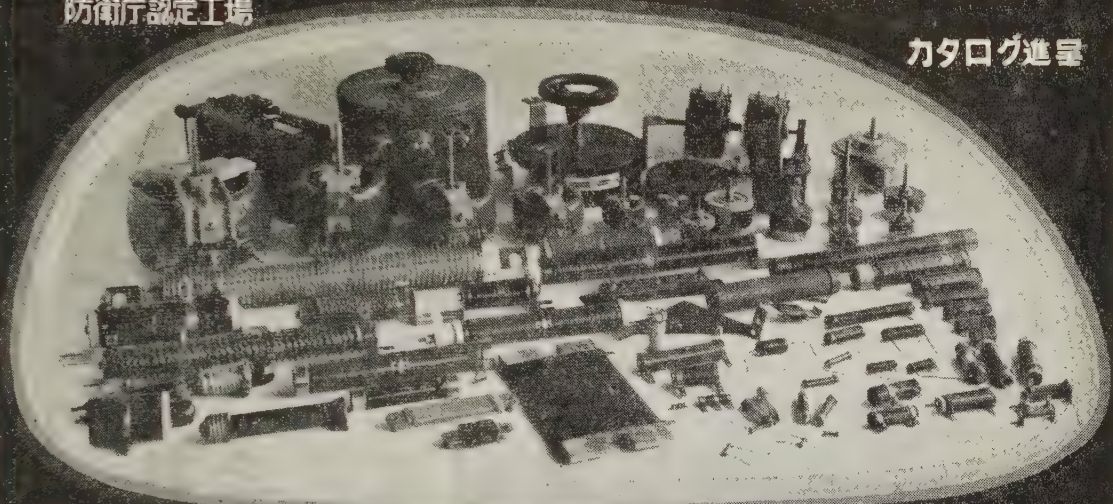
最大の生産と最高の品質管理を誇る



JIS表示許可
防衛庁認定工場

日本抵抗器

カタログ進呈

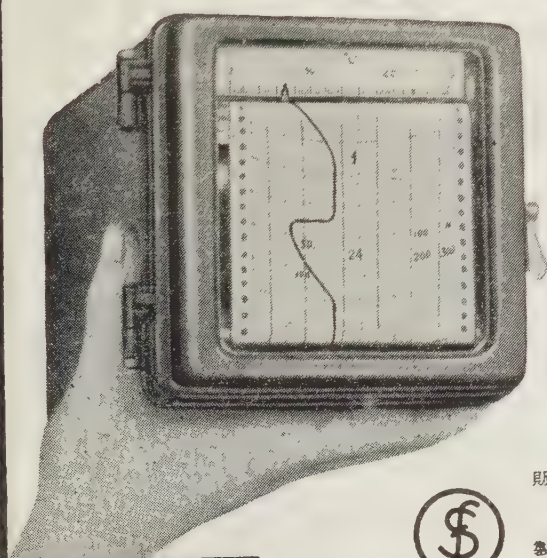


株式会社 日本抵抗器製作所

東京都品川区大井町2-23-8 電 (781) 8450・4211
8554・8594
大阪市大淀区南浜町2の26 電 (37) 6756 (代)

温度・電圧・電流・其の他各種の
測定記録に・又図示パネル用計器
としても最適です。

特 許 出 願 中



販 売

製 造

富士機器の 小型記録計

性 能

- ① 大きさ 130 mm角 奥行 217 mm
- ② 重 さ 約 3 kg
- ③ 記録方式 熱ペン式
- ④ 記録紙有効巾 70 mm 記録紙 1 巻 10 日間有効
- ⑤ 記録紙速度 1 時間 25 mm/h ~ 75 mm/h
- ⑥ 感度 50 μ A 又は 20 mV 以上 (フルスケール)
- ⑦ 使用電源 AC 100 V 50 ~ or 60 ~ 6 W
- ⑧ 真空管等は使用せず

富士電機製造株式会社

東京都千代田区丸の内2の6 電話 (281) 大代表 7111

富士機器株式会社

(旧社名 コッス測定器株式会社)

オートメーション化には、優良AVRを!!

定電圧

の御相談は
我国唯一の 各種AVR
総合メーカーへ

あなたの優秀なる御設計には、……次の何れかが……必ずミートします。

摺動型→TH型→周波数の影響なし、波形歪みなし、精度±1%以内、応答5秒以内	200kVA迄
→TB型→同上、精度±1%以内、応答4秒以内	200kVA迄
→MR型→同上、精度±3%以内、応答10秒以内	5kVA迄
磁気増幅型→MA型→46%~61%、歪率5%以内、精度±0.5%以内、応答10% (0.2秒) 以内	50kVA迄
→TM型→46%~61%、歪率5%以内、精度±0.5%以内、応答5% 以内	5kVA迄
電子管型→TR型→46%~61%、精度±0.1%以内、応答1% 以内	5kVA迄
鉄共振型→FS型→47~51、57~61%、精度±2%以内、応答1% 以内	5kVA迄
誘導型→ID型→46~51、56~61%、歪率10%以内、精度±2%以内、応答30秒以内	200kVA迄
定電流装置→CS型→46%~62%、精度±1%以内、応答1秒以内	5kVA迄
発電機用型→FR型→47%~61%、精度±2%以内、応答約1秒	500kVA迄
電気炉自動制御装置→弊社のAVRを使用し、高性能、高効率、低廉なる自動温度調節装置	200kVA迄
整流装置→SR型→電圧及周波数の変動する交流電源から、電圧精度±1%以内の安定した直流を得られる。	
→バッテリーの代用又はバッテリーの浮動充電用其の他の直流電源	
瞬時制動モーター→起動トルク…大、3% (1/6秒) 以内に瞬時停止並に逆転、起動電流…小、サーボモーターに最適	



桂川電機株式会社

(型録贈呈)

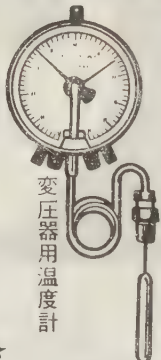
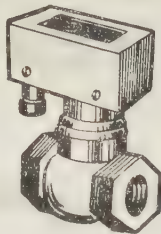
東京都大田区矢口町418番地
TEL (731) 0181 (代表) ~5



変圧器用及軸承用
温度計と流量継電器



流量継電器



変圧器用温度計

★主要製品目★

温度指示計 液面調節計 流量計 電磁開閉器
温度記録計 熱電温度計 電動ダンパー 浮子開閉器
温度調節計 抵抗温度計 バイメタル温度計 ドラフト計
湿度調節計 電磁弁 時限継電器 検塩計
圧力調節計 電動弁 表面温度計 電気式圧力計

株式
会社

東邦計量器製作所

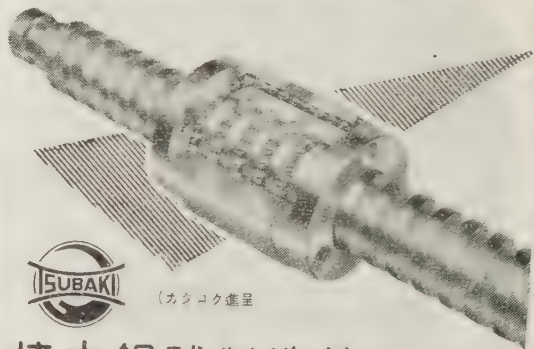
東京都三鷹市下連雀60番地
電話武蔵野(022)3局3256・4688

ねじの革命!!

ツバキの

ボールねじ

特許番号 252497



(カシコク進呈)

椿本鋼球製造株式会社

本社：大阪府大阪市東区東船場1-1-1 電話：大阪 481-2712
大阪営業所：大阪府大阪市東区東船場5-5 電話：大阪 36-3828・36-3829
東京営業所：東京都台東区浅草橋2-2-2 電話：東京 841-4828
名古屋出張所：名古屋市中区栄2-2-25 電話：名古屋 32-6709

販売代理店 椿本興業株式会社

NICUM

電氣機器

真空

(ワニ)

の絶縁を完全にする
乾燥・含浸装置
(コンパウンド含浸装置)

主なる
納入先

愛知電機・中国電力・安川電機
沖電機・三菱電機・北辰電機・住友機械
東洋レーヨン・オリゲン電機・三洋電機

日空工業株式会社

本社 大阪市西区江戸堀南通3の18
東京 東京市台東区二長3-1-1
電話 03-312161 (代)

EP型

計圧電静

新 製 品



製造品目 光示式計器・電子管式記錄計
檢流計・直流電位差計・直讀オーム計 他



有限会社 村山電機製作所

東京都目黒区中目黒3丁目1163
電話 目黒 (712) 0076・0077

特許

特殊銀酸化カドミウム接点

T.O.コンタクト・メタル

電氣の
、ム
、と、
、T O、
、メタル
を完成発売して
より急速に認め
られ右機器に御
採用を賜ふ所を
を賜つて居りま

御使用機器
電磁開閉器
ノーブレーク
サースト
各一
気一
微二
多三
航四
機五
マ六
タ七
ク八
イ九
イ十
力十一
動十二
白十三

ТОБ-2×300 ТОБ-3×300

特 徵

耐熱性，抗蝕性，
溫度上昇，移動量僅少
遮斷性，耐蝕性，耐久
性大

製造品目一

T.O. コンタクトメタル
粉末冶金接点
白金銀合金接点各種

中外接点株式会社

本社・工場 東京都目黒区高木町 1509 Tel. (717) 1111~6
足立工場 足立区本木町 3—5310 Tel. (881) 6188~9

最高の技術で……
優れた経済性の……

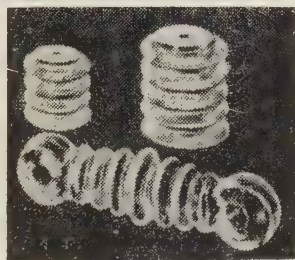


3222号

- リン青銅
- 洋 白
- ベリリウム銅
- モネルメタル

佐藤金属工業株式会社

本 社 東京都港区芝浜松町3丁目5 TEL. 芝(431)7166(代表)
工 場 浦 和 市 白 幡 966 TEL. 浦和2611・3162



高周波絶縁碍子

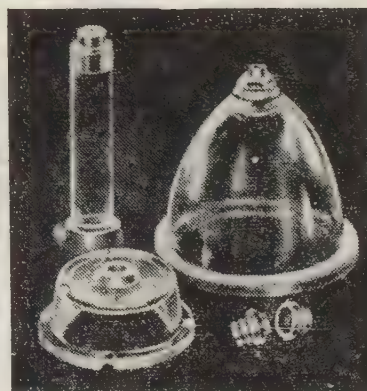
ボンレックス

アメリカ無線界ではパイレックスを
日本ではボンレックスの御使用を

ボンレックスの用途 無線 有線電気通信機器用 © 原子力平和利用・各機器碍子



最近欧米各国で電話通信線用に使用されている高周波絶縁碍子



株 式
会 社

ボン碍子製作所

カタログ
定価表呈

東京都千代田区神田松永町19番地松永ビル TEL (251) 8894番



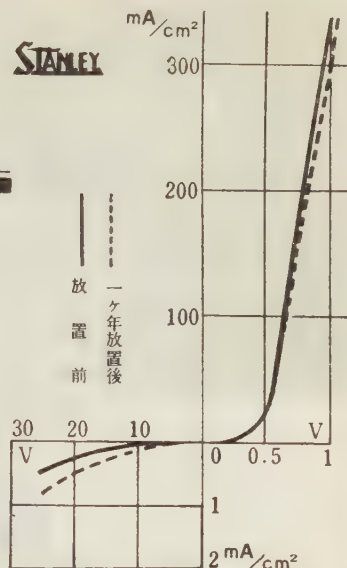
スタンレー

STANLEY

性能が2倍に飛躍した…

- 1 正方向抵抗が減少して今までの $\frac{1}{2}$ になりました
- 2 定格出力が2倍に増加しました
- 3 効率は3相全波の場合94%以上です
- 4 最高許容温度は100°Cです
- 5 大きさ重量ともに従来の $\frac{1}{2}$ です
- 6 $\frac{1}{2}$ に小形化されたため御予算も半分ですみます

1年間性能テスト(屋外常温常湿・塗装前)



セリオン整流体 A板

カタログ贈呈 スタンレー電気株式会社宣伝課115係あて 東京都目黒区中目黒2-605 電話東京 712 代表 1111(10)

NEC シリコン整流器



最大 定格 品名	尖頭逆方 向電圧	動作電圧 (実効値)	直流逆方 向電圧	平均整流電流		サージ 電流	周 围 温 度
				Ta=25°C	Ta=100°C		
SD32A	50 V	35 V	50 V	750mA	400mA	15 A	-65~ +150°C
SD32B	100	70	100	750	400	15	-65~ +150
SD32C	200	140	200	750	400	15	-65~ +150
SD32D	300	210	300	750	400	15	-65~ +150
SD32E	400	280	400	750	400	15	-65~ +150
SD32F	500	350	500	750	400	15	-65~ +150
SD32G	600	420	600	750	400	15	-65~ +150

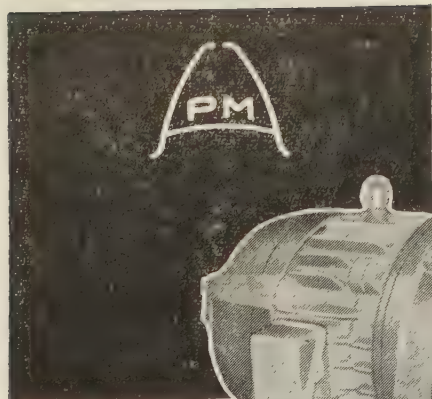
弊社製品目

T V・ラジオ共聴用増巾器
特殊用途 測定器・電源各種
通信機器・放送機・音響機器

日本電気株式会社特約店

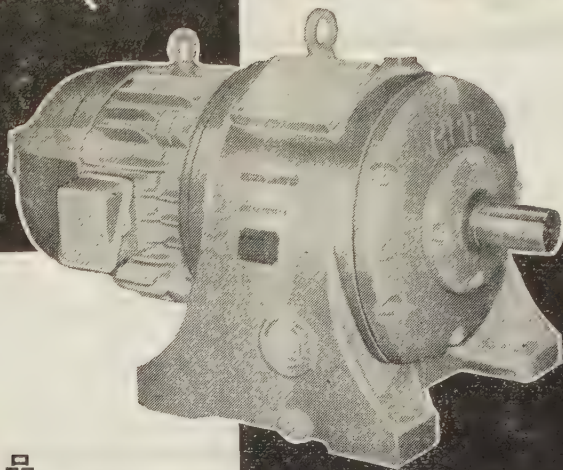
株式会社 萩原電気工業社

名古屋市中村区南祢宜町42番地
電 話 (54) 6 5 8 7・6 9 0 7 番



あらゆる機械の動力源に
ハンシン ギャードモートル

ギヤーセービング
クラウニング加工



主要製品
減速機・増速機
ギャードモーター
モータープーリー
バッドルホイール
灰出装置

阪神動力機械株式会社

本社 大阪市此花区西宮島元宮町1-5
電話 此花(46)1312・3695・4907・4807
東京営業所 東京都千代田区神田和泉町1 電話 03/0386

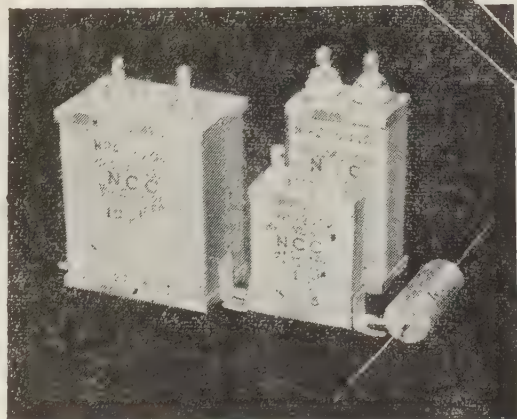
NCC

エレクトロニクス・オートメーション用

高信頼度・高性能の

NCCコンデンサ

- NCC MP コンデンサー
.01 μ F-100 μ F 150-700 V
- NCCPH オイルチューブラー
.001-0.5 μ F 400 V -10 KVDC
- NCC シルバード マイカドン
1PF-0.01 μ F 1000 TVDC



(カタログ贈呈)

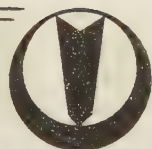
NCC

JIS 表示許可工場

松尾電機株式会社

本社 大阪府豊中市洲到止124
電話 大阪 (39) 0828・0829
東京営業所 東京都千代田区神田淡路町2の6
電話 東京 (291) 4448~9

シツキの養進相器



工業技術院長賞
通産局長賞
合理化モデル工場指定



高	低	蓄	電	無	ラ	レ	螢	科	M	其
圧	圧			気	ジ	ント	光	学	P	他
進	進	電		線	オ	ゲ	灯	機	コ	各
相	相	炉				ン		器	ン	種
用	用	器	用	用	用	用	用	用	サ	蓄
									ー	電
										器

株式会社 指月電機製作所

本社工場 西宮市大社町一番地 電話西宮 (3) 5821~5 番
東京製作所 東京都大田区新井宿七丁目一〇番地 電話大森 (761) 5770~2 番
名古屋出張所 名古屋市中区東瓦町一三〇番地 電話名古屋 (24) 7645 番

オールトランジスタ 安定化低圧直流電源

定電流装置付

TPM-200

DC 0~25V
0~200mA

1. 入力電圧……AC 50, 60~90~110V
2. 出力電圧……DC 0~25V
3. 出力電流……最大連続負荷 200mA
4. 出力電圧変動率……入力及負荷の全変動に対して 0.4%以内
5. リップル……負荷電流 200mA において10mV 以下
6. 定電流装置……最大負荷電流を20mA, 60mA, 200mA の
(過負荷防止装置) 3レンジ電流計と連動切替機構を有し、各レ
ンジ共その範囲内の任意の値で電流制限を行
うことができる。
7. 始動時間……スイッチインと同時に
8. 寸法・重量……23×14×10cm³ 3.5kg



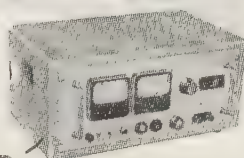
PAT PEND

株式会社 高砂製作所

溝の口 (048) 4111 (代表)

川崎市二子 662 電話 東京 701-4391, 048-3883

(営業直通)

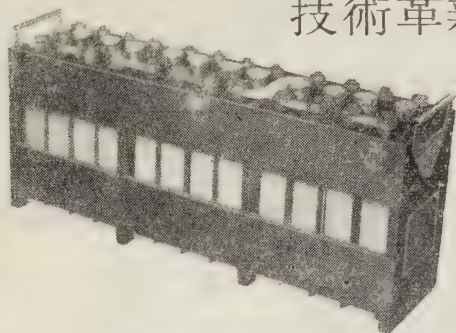


MODEL TP-25

DC 0~25V, 0~5A

本多アルカリ蓄電池

技術革新の時代にふさわしい!



本多アルカリ蓄電池は次の様な特徴を備えております

- ★小型軽量で容量が大きい。
- ★過充放電に耐え、取扱いが簡単で長寿命である。
- ★サルフェーションや極板の脱落が無く機械的にも強度が大きい。

■通産省 応用研究補助金受領
 ■通産省 工業化試験補助金受領
 ■東京 通産局長賞受賞
 (於 第二回日本工業技術展)

●本多セレン整流器

本多電機株式会社

本社 東京都品川区上大崎4丁目190番地 電話大崎 (491)3207, 6570, 6572
 東京営業所 東京都千代田区丸の内2丁目(丸ビル328区) 電話和田倉 (201) 5635・5636
 九州支店 福岡県飯塚市新飯塚本通4丁目 電話飯塚 385・1033
 札幌営業所 札幌市北三条東八丁目 電話札幌 (3) 4711



進相用 (高圧・低圧)
 通信用 (有線・無線)
 蛍光灯用・静電型防止器
 衝撃電圧発生装置用
 其他各種



JIS 許可番号
 NO. 703
 NO. 2592

不燃性高圧コンデンサ

関西二井のコンデンサ

関西二井販売株式会社

本社 京都市中京区西洞院通四条上ル 電話本局 (2) 0424・1307
 大阪営業所 大阪市北区茶屋町37番地 電話豊崎 (37) 1872・2496~8・2868・5449・6849
 東京営業所 東京都港区芝浜松町4丁目119 電話芝 (431) 4035~6・5292・5344・4503

株式会社 関西二井製作所

本社 京都 工場 草津・京都・京都北



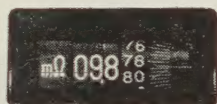
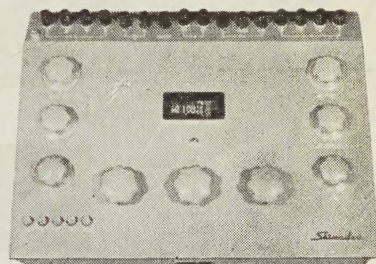
Shimadzu

あらゆる産業の生産性を高める
島津オートメーション計器

最高の精度・やさしい測定

現字式

万能直流電位差計
ブリッジ



ひと目で読める測定値

PD形 現字式万能直流電位差計

測定範囲：高域0-1.61V、中域0-0.161V、低域0-0.0161V、倍率器による最高範囲322V
許容差：高域 $\pm 0.01\%$ + $20\mu V$ 、中域 $\pm 0.015\%$ + $3\mu V$ 、低域 $\pm 0.015\%$ + $0.5\mu V$

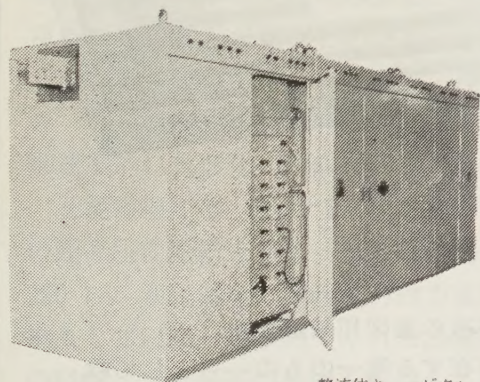
BD形 現字式万能直流ブリッジ

測定範囲：100-0.01m Ω 、100-0.01 Ω 、100-0.01K Ω 、100-0.01M Ω
最小測定範囲：m Ω の小数以下3位

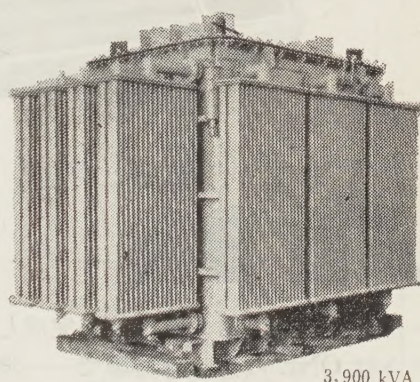
株式会社島津製作所

本社 京都市中京区河原町二条南
支店 東京・大阪・福岡・名古屋・広島・札幌

KYOSAN 電解用シリコン整流装置



整流体キュービクル



3,900 kVA 3 ϕ
6C形主可飽和リアクトル

日本曹達株式会社津工場殿納入 3,375 kW 225 V 15 kA

電解用自動定電流シリコン整流装置

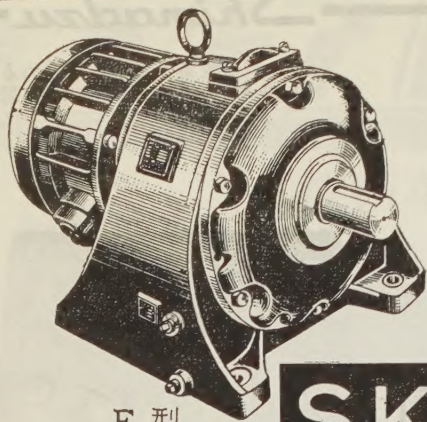
本整流装置は世界最大の超大容量可飽和リアクトルを具備した全磁気増巾式電解用定電流シリコン整流装置で、応答速度はやく、遠隔監視制御により無人運転方式を採用し、整流体キュービクルはトレー方式を採用しているため、万一ヒューズ熔断または整流体に部分的故障が発生しても全負荷運転中にそのまま予備品の交換が可能になっております。



株式会社

京三製作所

営業部 東京都中央区銀座西1の1 Tel (561) 8361 (代)
本社及工場 横浜市鶴見区平安町2の131 Tel (5) 6591 (代)
本社及出張所 大 阪・名 古 屋・福 岡



F 型

3

つの特徴

軽量 強力 低廉

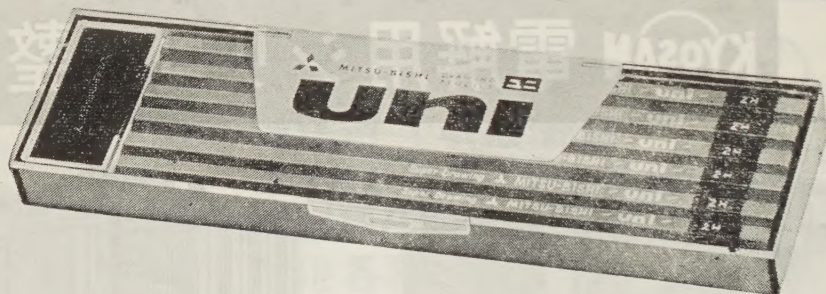
SKKギヤードモートル

ギヤーシェービング・クラウニング加工



株式 精機工業所

社長 龜山多通雄
 〒 崎 市 上 坂 部
 電 話 大 阪 (48) 5921~7
 支店 出張所 東京・福岡・札幌・名古屋



uni

ユニは三菱鉛筆の総力を挙げて完成した最高級の製図用鉛筆です。
 ユニとは ONE の意味の英語で——現代に存在する唯一のもの——として敢
 えて名付けました。

三菱鉛筆

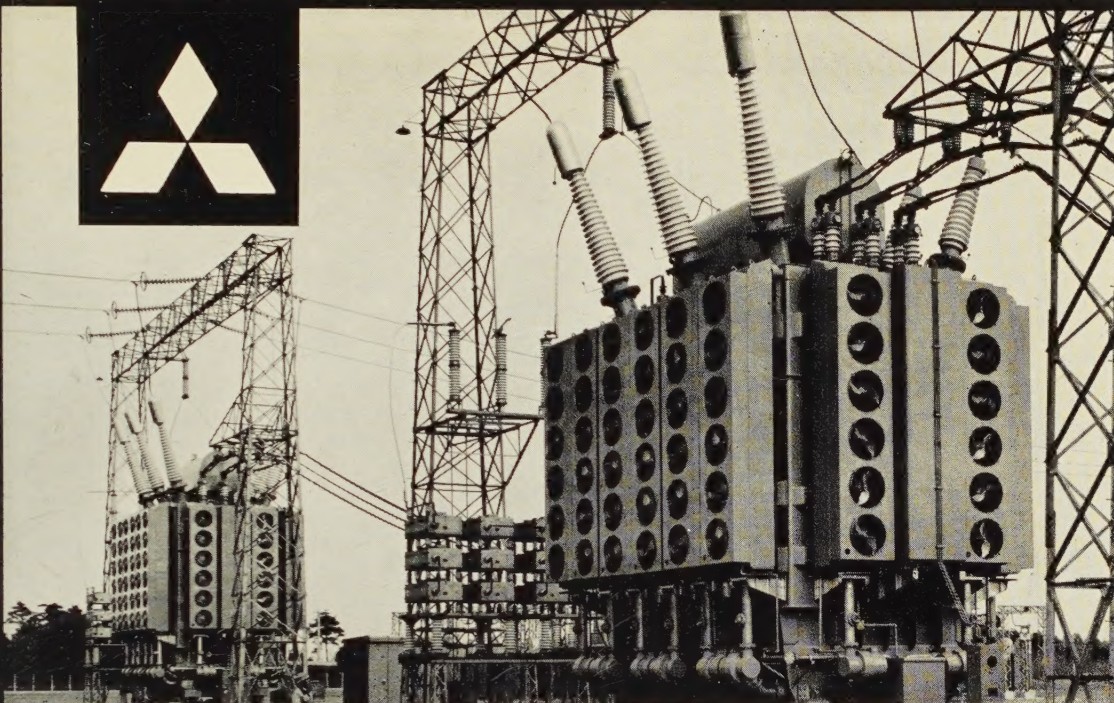
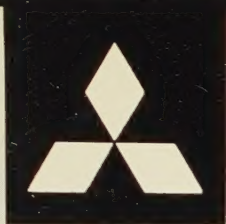
本誌広告取扱店

広

和

堂

東京都中央区銀座西8ノ3
 小鍛冶ビル5階電話(571) 6836
 8763



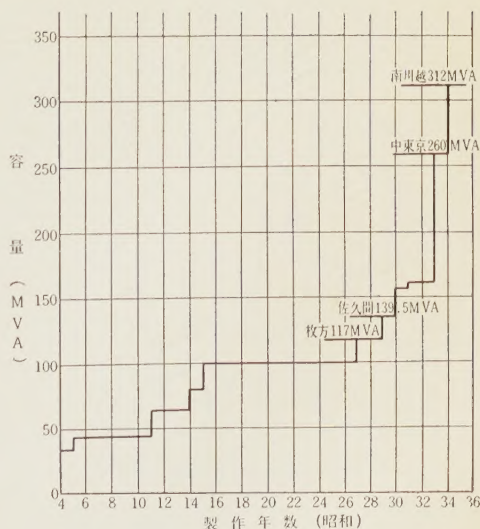
記録を更新してゆく!

三菱電機の超高压変圧器

新鋭火力発電所の発電機の大容量化や膨大なダム式水力発電所の建設と超高压送電線の送電電力の増大とあいまってこれらの電力を受電する一次変電所の建設も進み 発電所に設置される超高压変圧器は加速度的に大形化の傾向にあります

三菱電機では 昭和 27 年にわが国最初の超高压変圧器として 117,000 kVA 250 kV 変圧器を 関西電力枚方変電所に納入して以来 幾多のすぐれた設備と多年の経験による最高の技術を駆使してほとんど毎年のように 容量の記録を自らの手で更新しています

当社が製作した主な超高压変圧器の製作実績は 製作中のものを含めて 3,568,500 kVA という驚異的な実績を納めています



三菱変圧器容量記録の推移

三菱電機株式会社

(昭和三十三年八月二十六日
第三種郵便物認可)

(昭和三十三年八月二十六日
昭和三十三年九月一日発行)

(印刷
毎月一回一日発行)

電気学会雑誌

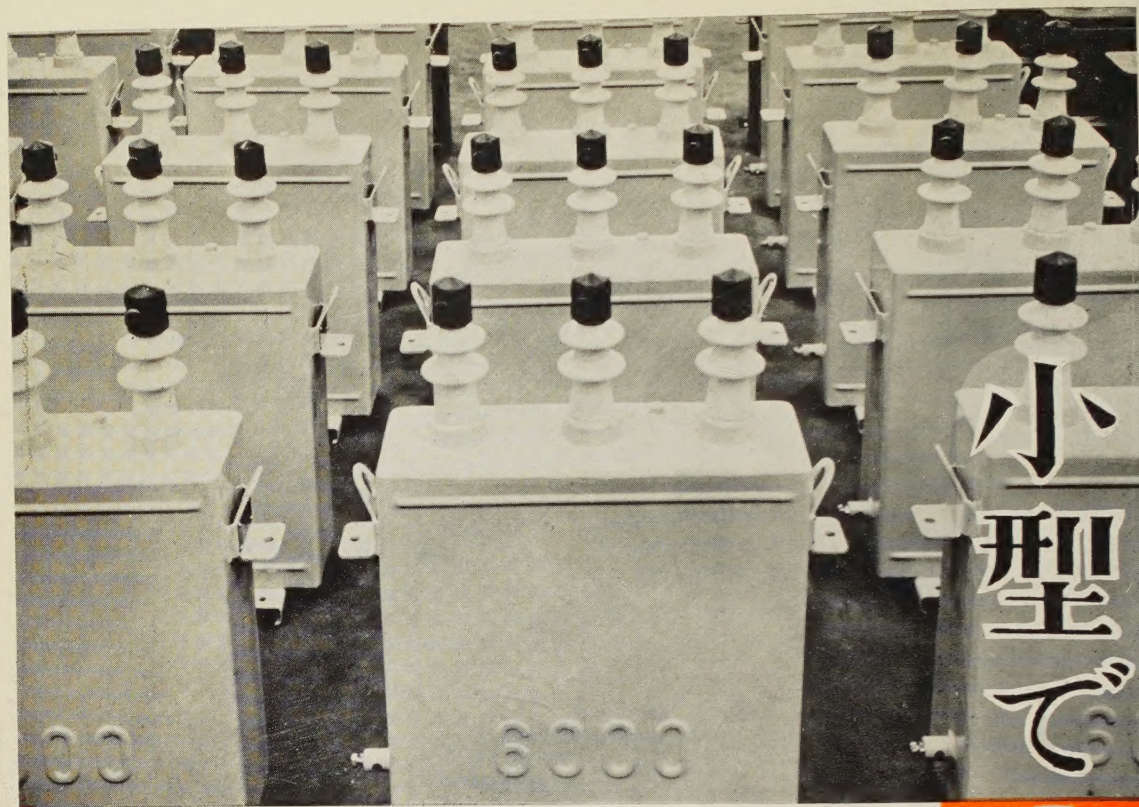
第八十巻

第九冊

第八六四号

定価

一部百五十円



Toshiba

シバノール
東芝

東芝では屋内外用10, 15, 20, 25, 50, 75, 100 kVA等を標準化し、3,300 V用および6,600 V用の標準形コンデンサは、すべてシバノールコンデンサを製作しています。したがって、100 kVA以上のコンデンサバンクは、これらのコンデンサの集合形でご計画される方が

不燃性による安全度の向上

据付け面積の縮小

工事の簡易化

等の利点が得られます。

ご要求によっては3,300 V 6,600 V 両用も製作いたします。

シバノール

シバノールは、三塩化ベンゾールと、五塩化ジフェニールの混合物よりなる不燃性合成絶縁油の東芝商品名で、コンデンサや変圧器等の絶縁油として広く用いられています。

東京芝浦電気株式会社

小型で

高性能